http://cnum.cnam.fr
Conservatoire numérique des Arts & Métiers

Titre général : Exposition universelle internationale de 1889 à Paris. Rapport général
Titre du volume : Tome sixième. Les industries extractives, les produits bruts et ouvrés. L'outillage et les procédés des industries mécaniques

Mots-clés : Exposition universelle (1889 ; Paris)

Description : [4]-628 p. ; 29 cm.
Adresse : Paris : Imprimerie nationale, 1892
Cote de l'exemplaire : CNAM 8°XAE 349.6 (Bibliothèque du CNAM)

URL permanente : http://cnum.cnam.fr/redir?8XAE349.6

La reproduction de tout ou partie des documents pour un usage personnel ou d'enseignement est autorisée, à condition que la mention complète de la source (*Conservatoire national des arts et métiers, Conservatoire numérique http://cnum.cnam.fr*) soit indiquée clairement. Toutes les utilisations à d'autres fins, notamment commerciales, sont soumises à autorisation, et/ou au règlement d'un droit de reproduction.

You may make digital or hard copies of this document for personal or classroom use, as long as the copies indicate *Conservatoire national des arts et métiers, Conservatoire numérique http://cnum.cnam.fr*. You may assemble and distribute links that point to other *CNUM* documents. Please do not republish these PDFs, or post them on other servers, or redistribute them to lists, without first getting explicit permission from *CNUM*.

PDF créé le 5/2/2008

8° Xac. 20. 64. 20.

EXPOSITION UNIVERSELLE INTERNATIONALE DE 1889

À PARIS

RAPPORT GÉNÉRAL

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Exemplaire offert

à la Bibliothèque du Conservatoire

Nal des Arts et Métiers

Le Rapporteur Général

A. Ricard

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

8° Xae 349.6

MINISTÈRE DU COMMERCE, DE L'INDUSTRIE
ET DES COLONIES

EXPOSITION UNIVERSELLE INTERNATIONALE DE 1889
À PARIS

RAPPORT GÉNÉRAL

PAR

M. ALFRED PICARD
INSPECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES, PRÉSIDENT DE SECTION AU CONSEIL D'ÉTAT

TOME SIXIÈME

Les industries extractives, les produits bruts et ouvrés
L'outillage et les procédés des industries mécaniques
(GROUPES V ET VI DE L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1889)

PARIS
IMPRIMERIE NATIONALE

M DCCC XCII

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

DOUZIÈME PARTIE

LES INDUSTRIES EXTRACTIVES

LES PRODUITS BRUTS ET OUVRÉS

(GROUPE V DE L'EXPOSITION UNIVERSELLE INTERNATIONALE DE 1889)

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

DOUZIÈME PARTIE.

LES INDUSTRIES EXTRACTIVES.
LES PRODUITS BRUTS ET OUVRÉS.

(Groupe V de l'Exposition universelle internationale de 1889.)

CHAPITRE PREMIER.

PRODUITS DE L'EXPLOITATION DES MINES ET DE LA MÉTALLURGIE [1].

---

1. Produits des industries minières. — a. *Généralités.* — Si l'on en excepte certaines substances minérales qui du reste séduisent moins le visiteur par leur aspect que par leur valeur, les produits de l'exploitation des mines ne sont point faits pour attirer la foule dans une exposition. Quelle séduction un bloc de houille, par exemple, peut-il exercer à côté des chefs-d'œuvre de l'orfèvrerie, de la bijouterie, de l'ameublement, du tissage ou de la mécanique ? Cependant les industries minières ont un rôle sans cesse grandissant dans la vie matérielle des peuples; chaque jour, elles absorbent une plus grande somme de forces et d'activité. Les combustibles minéraux, le pétrole, les minerais de fer, le sel, les pyrites, les sels de potasse, les phosphates, etc., sans parler de l'or, de l'argent et des gemmes, constituent à divers titres des matières éminemment utiles, des sources de richesse pour ceux qui les extraient comme pour ceux qui les transforment ou les emploient.

Au premier abord, il peut sembler que l'intelligence, l'esprit d'invention et la science aient une part moins large dans la découverte

[1] Voir *infra* le chapitre consacré au matériel et aux procédés de l'exploitation des mines et de la métallurgie (treizième partie, chapitre I).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et l'exploitation des substances minérales que dans leur mise en œuvre. Sans doute, bien des gîtes dormiraient encore d'un sommeil paisible, si le hasard n'en avait révélé l'existence; sans doute, les méthodes et les procédés d'extraction ont été longtemps primitifs et barbares. Mais, là comme ailleurs, les données scientifiques se sont frayé leur chemin. L'étude de l'écorce terrestre, poursuivie pendant la suite des siècles, est venue donner naissance à la géologie, éclairer d'une vive lumière la structure de notre globe, tracer scientifiquement la voie aux recherches, fournir des indications précieuses pour la direction des travaux de mines, permettre de suivre les substances minérales à travers toutes les particularités de leurs gisements. A côté de la géologie, la minéralogie, la chimie, la mécanique ont puissamment contribué, soit à reconnaître les corps susceptibles d'utilisation, soit à les arracher aux entrailles de la terre.

Dès la plus haute antiquité, les exploitations minières avaient pris une grande importance dans la péninsule ibérique. L'Espagne et le Portugal livraient aux Romains des quantités considérables de métaux de toute espèce : or, argent, plomb, cuivre, étain, fer. On y a retrouvé des lampes de mineur en terre cuite, des marteaux en pierre, des haches en bronze, des coins en fer, des tenailles, des paniers en sparte et des roues hydrauliques servant à l'épuisement, ainsi que de nombreux ouvrages et appareils affectés à la préparation ou au traitement des minerais.

Strabon cite également les exploitations de l'Italie, de la Macédoine et de la Grèce.

Les Gaulois tiraient l'or de diverses rivières, telles que l'Ariège. Ils exploitaient aussi à l'époque romaine, et probablement même à une époque antérieure, des gîtes nombreux de galène argentifère dans le pays des Ruthènes, en Savoie, dans la Lozère et le Gard, etc.; des mines de cuivre dans le Tarn, les Basses-Pyrénées, la Haute-Garonne, l'Ariège, le Rhône, l'Hérault; des mines d'étain, sur divers points du plateau central; enfin des mines de fer dans l'Yonne, l'Aube, la Côte-d'Or, l'Aveyron, l'Indre-et-Loire, la Nièvre, la Sarthe, la Seine-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Inférieure, l'Orne, la Mayenne, la Haute-Marne, la Meurthe, l'Isère, etc. L'industrie du fer, en particulier, a laissé des traces irrécusables sous forme de gros amas de scories.

On ne peut qu'admirer la finesse d'observation et la perspicacité des anciens, aussi bien que les connaissances pratiques auxquelles ils étaient déjà arrivés.

Parmi les mines autrefois florissantes, quelques-unes continuent à être exploitées. D'autres, au contraire, sont tombées dans l'abandon, soit qu'elles se fussent épuisées ou appauvries, soit que les conditions économiques du travail ne permissent plus d'en tirer utilement parti, soit que la tradition se fût rompue pendant les longues périodes de guerres ou de troubles intérieurs. Au nombre des causes qui ont amené le délaissement de certains gîtes, il y a lieu de mentionner spécialement les facilités modernes des communications : tel peuple, jadis contraint à tout tirer de son territoire et par suite à exploiter les minerais les plus pauvres, trouve aujourd'hui avantage à faire venir de régions, quelquefois fort éloignées, les substances minérales ou les produits résultant de leur élaboration.

b. *Combustibles minéraux.* — Les *combustibles minéraux* enfouis dans les différents étages des terrains stratifiés se ramènent à trois types principaux : le lignite, la houille et l'anthracite. Tous sont d'origine végétale; cette origine, admise depuis le commencement du siècle, a été confirmée, non seulement par les traces ou les empreintes de végétaux qu'on y rencontre, mais aussi par les expériences synthétiques qui ont permis de transformer artificiellement des plantes ou du bois en houille ou en anthracite, sous l'action simultanée de la chaleur et de la pression. Il est à peu près certain que la formation des combustibles minéraux résulte de la carbonisation humide d'amas considérables d'arbres et de plantes enfouis sous des sédiments, soustraits ainsi à l'action de l'atmosphère, et soumis en même temps à une compression énergique, ainsi qu'à une température assez élevée. Les variations de leur nature et de leur qualité tiennent sans doute à des dissemblances dans la végétation dont

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ils sont nés et à des différences dans les conditions de température, de pression, de milieu, où ils se sont trouvés lors de leur constitution.

C'est seulement à partir du XIIIe siècle que l'on a des preuves certaines de l'extraction de la houille; par acte de 1239, le roi Henri III concéda aux habitants de Newcastle-sur-Tyne un privilège d'exploitation. La consommation de Londres s'empara si rapidement du nouveau combustible que, dès les premières années du siècle suivant, les habitants de la grande cité protestèrent contre les dégagements de fumée qui souillaient l'air et qu'ils jugeaient nuisibles à la santé publique; cédant à leur requête, Édouard Ier rendit en 1306 un édit interdisant de brûler de la houille à Londres et dans les faubourgs. Mais cette interdiction fut de courte durée et la houille reparut bientôt dans la capitale anglaise. Jusqu'à la fin du XVIIe siècle, elle ne servit guère qu'à des usages domestiques; plus tard, son emploi par la métallurgie et son utilisation pour produire de la vapeur, c'est-à-dire de la force, donnèrent à l'exploitation des houillères un essor inouï. La quantité de houille extraite sur le territoire de la Grande-Bretagne passa de 2,150,000 tonnes en 1660 à 10,100,000 tonnes en 1800, puis atteignit 78,500,000 tonnes en 1860, 104,500,000 en 1867, 135,600,000 en 1876; elle s'est élevée, en 1889, à 180 millions de tonnes en nombre rond. Grâce à sa puissante marine, l'Angleterre déverse une partie de cette production fabuleuse sur le littoral de pays souvent fort lointains. Les bassins les plus importants sont ceux de Durham et Northumberland, du Yorkshire et du Derbyshire, de l'Écosse, du Lancashire, du pays de Galles, des comtés de Stafford et Worcester.

D'après les rapports du jury de 1867 et du jury de 1878, la production totale de combustibles minéraux sur la surface entière du globe était de 170 millions de tonnes vers 1865 et de 288 millions en 1876. Les statistiques officielles du Ministère des travaux publics, pour 1880 et 1889, se résument ainsi.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

DÉSIGNATION DES PAYS.		PRODUCTION. 1880.	PRODUCTION. 1889.
		tonnes.	tonnes.
Europe	Grande-Bretagne	149,020,000	179,750,000
	Allemagne	53,470,000	84,920,000
	Autriche-Hongrie	14,930,000	24,950,000
	France	19,360,000	24,300,000
	Belgique	16,870,000	19,870,000
	Russie	2,920,000	6,200,000
	Espagne	690,000	1,040,000
Amérique	États-Unis	60,705,000	128,115,000
	Canada	1,330,000 (1)	2,470,000
Océanie	Australie, Nouvelle-Zélande et Tasmanie	1,770,000	4,640,000
Asie	Indes anglaises	1,015,000 (1)	2,080,000
	Japon	400,000	1,250,000
Autres pays		345,000	1,110,000
	Totaux	322,825,000	480,695,000

(1) Chiffres correspondant à l'année 1881.

Ces statistiques ne sont pas complètement à jour pour tous les pays; elles peuvent contenir quelques lacunes; néanmoins, prises dans leur ensemble, elles montrent bien l'importance et l'énorme développement de la production houillère, qui approche de 500 millions de tonnes, représentant sur le carreau de la mine une valeur de 4 à 5 milliards.

Plusieurs nations, notamment les États-Unis, marchent à pas de géant.

La France a progressé rapidement, depuis les premières années du siècle, mais sans pouvoir suffire cependant à sa consommation. Voici quelques chiffres empruntés aux statistiques officielles de la Direction des mines :

ANNÉES.	PRODUCTION.	IMPORTATION.	EXPORTATION.	CONSOMMATION.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
1789	675,000	240,000	30,000	885,000
1795	644,000	//	//	//
1802	844,000	116,000	25,000	935,000
1811	744,000	120,000	30,000	864,000
1820	1,094,000	281,000	26,000	1,348,000

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ANNÉES.	PRODUCTION.	IMPORTATION.	EXPORTATION.	CONSOMMATION.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
1830	1,863,000	637,000	6,000	2,494,000
1840	3,003,000	1,291,000	37,000	4,257,000
1850	4,434,000	2,833,000	42,000	7,225,000
1851 (1)	4,485,000	2,927,000	35,000	7,377,000
1855 (1)	7,453,000	4,952,000	112,000	12,294,000
1860	8,304,000	6,160,000	200,000	14,270,000
1867 (1)	12,739,000	7,983,000	356,000	20,160,000
1870	13,330,000	6,045,000	395,000	18,830,000
1878 (1)	16,961,000	8,201,000	594,000	24,555,000
1880	19,362,000	9,942,000	603,000	28,846,000
1881	19,776,000	10,221,000	601,000	29,445,000
1882	20,604,000	10,868,000	457,000	31,025,000
1883	21,334,000	11,707,000	510,000	32,439,000
1884	20,024,000	11,678,000	500,000	30,941,000
1885	19,511,000	10,917,000	506,000	30,035,000
1886	19,910,000	10,381,000	610,000	29,619,000
1887	21,288,000	10,565,000	595,000	31,191,000
1888	22,603,000	10,551,000	629,000	32,674,000
1889 (1)	24,304,000	9,981,000	943,000	33,511,000

(1) Année d'exposition universelle.

C'est la houille qui constitue presque seule notre production : elle entre en effet pour 22,460,000 tonnes, c'est-à-dire pour 92 p. 100, dans le chiffre total de 24,304,000 tonnes. L'anthracite ne fournit que 1,392,000 tonnes et le lignite 452,000 tonnes.

L'extraction se répartit comme il suit entre les divers départements :

DÉPARTEMENTS.	PRODUCTION.
	tonnes.
Pas-de-Calais	8,614,000
Nord	4,719,000
Loire	3,325,000
Gard	1,968,000
Saône-et-Loire	1,500,000
Aveyron	849,000
Allier	823,000
Autres départements	2,506,000
TOTAL	24,304,000

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Depuis dix ans, tout l'effort de l'industrie houillère s'est porté sur le bassin du Nord et du Pas-de-Calais. Pendant la période de 1880 à 1889, la quantité de houille extraite de ce bassin a augmenté de 4,800,000 tonnes environ, et l'accroissement total pour la France n'a pas dépassé 4,940,000 tonnes. Le département du Nord donnait : en 1814, 273,000 tonnes; en 1820, 323,000 tonnes; en 1830, 494,000 tonnes; en 1840, 776,000 tonnes; en 1850, 1,002,000 tonnes; en 1855, 1,602,000 tonnes; en 1867, 2,317,000 tonnes; en 1878, 3,240,000 tonnes. Quant aux gîtes du Pas-de-Calais, ils étaient à peine exploités en 1850, ce qui ne les empêche pas d'occuper aujourd'hui le premier rang : leur produit est passé successivement de 42,000 tonnes en 1851 à 150,000 tonnes en 1855, à 1,614,000 tonnes en 1867, à 3,830,000 tonnes en 1878, pour atteindre 8,614,000 tonnes en 1889.

Les pays qui livrent à la France l'appoint réclamé par sa consommation sont la Belgique (5,035,000 tonnes en 1889), la Grande-Bretagne (3,840,000 tonnes) et l'Allemagne (1,104,000 tonnes). Soixante départements, en tête desquels se placent ceux de Meurthe-et-Moselle, de la Seine, du Nord, de la Seine-Inférieure et des Ardennes, font usage de houilles étrangères. L'importation reste actuellement stationnaire et marque même une tendance à décroître : ce fait doit être attribué aux efforts des exploitants, de l'Administration et des compagnies de chemins de fer pour étendre le cercle d'expansion des houilles indigènes et pour refouler les combustibles étrangers.

Notre exportation, relativement peu considérable, a pour objectif la Belgique (318,000 tonnes en 1889), la Suisse, l'Italie, l'Espagne, l'Allemagne, l'Algérie et les autres colonies françaises.

Les houillères françaises ont consommé en 1889, pour leurs propres besoins, 1,779,000 tonnes; les autres mines, 38,000 tonnes; les usines métallurgiques, 5,412,000 tonnes; les chemins de fer, 3,559,000 tonnes.

Des fluctuations assez notables se sont produites, au cours du siècle, dans le prix moyen de la houille sur le carreau de la mine : ce prix,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qui était de moins de 10 francs par tonne vers 1850, s'est élevé progressivement jusqu'à 16 fr. 60 en 1873, pour redescendre à 10 fr. 40 en 1889. On peut compter à peu près le double pour le prix moyen au lieu de consommation.

Il y a longtemps déjà que le monde industriel s'est inquiété de faire une sorte d'inventaire des richesses houillères accumulées par les siècles et de supputer l'époque à laquelle ces richesses seraient épuisées. Vers l'année 1860, des savants et des praticiens anglais poussèrent des cris de détresse; le Parlement britannique s'en émut, et une enquête fut instituée sous la direction de sir Roderick Murchison, célèbre par ses connaissances géologiques. La commission d'enquête déposa en 1871 un volumineux rapport concluant à l'existence de 146 milliards 500 millions de tonnes dans le sous-sol de la Grande-Bretagne; elle s'abstint d'ailleurs de calculer la vie probable de cet immense stock, en se retranchant avec infiniment de raison derrière l'aléa des exigences et des transformations de l'industrie.

Dans son introduction aux rapports du jury de l'Exposition de 1867, Michel Chevalier se posait la même question pour la France; il envisageait avec anxiété l'épuisement probable du bassin alors le plus productif, celui de Saint-Étienne et de Rive-de-Gier, avant la fin du XX^e^ siècle.

Bien qu'atténuées par la mise en exploitation de nouveaux bassins, soit en Europe, soit sur d'autres points du monde, ces craintes ont eu néanmoins des effets salutaires et poussé à l'économie du combustible, ainsi qu'à un meilleur aménagement du domaine forestier. Dès 1867, Michel Chevalier pouvait signaler des résultats sérieux obtenus, notamment par l'emploi du four Siemens et du four annulaire Hoffmann, par l'utilisation de la houille menue sous forme d'agglomérés, par la consommation plus générale de l'anthracite.

c. *Matières bitumineuses. Huiles minérales.* — Les matières *bitumineuses* donnent également lieu à une exploitation des plus actives. D'après les statistiques dressées par le Ministère des travaux publics,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pour les années 1880 et 1889, cette exploitation s'est chiffrée ainsi qu'il suit dans les diverses parties du monde[1] :

PAYS.	MINERAIS BITUMINEUX.		PAYS.	PÉTROLE OU NAPHTE.	
	1880.	1889.		1880.	1889.
	tonnes.	tonnes.		tonnes.	tonnes.
Grande-Bretagne....	850,400	2,047,000	États-Unis.....	3,338,000	3,473,000 [2]
France.....	144,000	215,000	Russie.....	352,400	3,259,000
Allemagne.....	26,000	55,000	Hongrie.....	1,600	100,000
La Trinité.....	(?)	79,000	Canada.....	44,500	81,000
États-Unis.....	3,000 [1]	47,000	Autres pays.....	2,200	16,000
Australie.....	33,000	41,000			
Autres pays.....	50,000	36,000	TOTAUX.....	3,738,700	6,929,000
TOTAUX.....	1,106,400	2,520,000			

[1] Chiffre de l'année 1881. — [2] Chiffre de l'année 1888.

On voit que l'Angleterre dépasse de beaucoup les autres pays pour la production des matières bitumineuses. Il s'agit, à proprement parler, non de schistes bitumineux, mais de roches produisant des matières analogues au bitume, boghead ou cannel-coal.

La France a des mines assez riches de schistes bitumineux dans les départements de Saône-et-Loire, de l'Allier et du Var. Elle possède aussi des gisements de calcaire asphaltique dans l'Ain, le Gard, la Haute-Savoie, le Puy-de-Dôme. Outre les schistes bitumineux, le département de Saône-et-Loire fournit du boghead. Un gisement d'asphalte, tout à fait analogue à celui de Seyssel (Ain), se rencontre en Suisse, au Val-de-Travers (canton de Neuchâtel).

Comme diverses autres substances, le pétrole était rattaché à plusieurs classes de l'Exposition[2]. Je crois devoir réserver pour le chapitre des produits chimiques les indications détaillées qu'appelle cette matière si importante; il me suffira d'énumérer ici les principaux gîtes pétrolifères. Ce sont tout d'abord ceux de la Pennsylvanie, de la

[1] La statistique de 1880 n'offre pas le même degré d'approximation que celles qui l'ont suivie.

[2] Voir *infra*, douzième partie, le chapitre des produits chimiques, et, treizième partie, le chapitre du matériel des arts chimiques.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Virginie occidentale, de l'Ohio, du Kentucky, de la Californie, de l'Utah, aux États-Unis; indépendamment du pétrole, la grande République américaine a aussi d'abondants dégagements de gaz naturels combustibles en Pennsylvanie, dans l'État de New-York, l'Indiana, le Kansas, le Colorado, l'Arkansas, le Tennessee, le Kentucky, l'Illinois, le Missouri et l'Ohio. Au second rang vient le massif caucasien, qui occupe une longueur de 1,250 kilomètres, entre la presqu'île de Taman (mer d'Azof) et la presqu'île d'Apchéron (mer Caspienne), et dont l'exploitation a fait des progrès merveilleux depuis quelques années. Les terrains pétrolifères de la Galicie forment une bande de 400 kilomètres environ de longueur sur 3 kilomètres de largeur; leur exploitation prend un sérieux développement. Des gîtes d'une richesse considérable existent au Canada, à l'ouest du lac Ontario : l'extraction du pétrole dans cette région y a fait naître une ville nouvelle, Pétrolia. Beaucoup de pays possèdent des formations pétrolifères qui pourront être très productives, quand elles seront exploitées : M. Martelet, rapporteur du jury de la classe 41, cite par exemple le Mexique, le Vénézuela, le Pérou, la Bolivie, la République Argentine, l'Australie, la Nouvelle-Zélande, la Tasmanie, l'archipel de la Malaisie, la Chine, le Japon, la Birmanie, le Béloutchistan.

L'ozokérite, ou cire minérale, se trouve en Galicie, dans les fentes et les poches qui traversent les bancs de grès et de schistes grisâtres composant l'étage tertiaire. On rencontre également la cire fossile en différents points des Balkans, du Caucase, du Texas, de l'Utah. Elle est transformée en cérésine pour la fabrication des cierges, des fleurs artificielles, etc., ou en paraffine et autres sous-produits.

d. *Minerais de fer et de métaux connexes.* — Il n'est pas de minerai métallique qui donne lieu à une extraction aussi considérable que le *minerai de fer*. Les statistiques du Ministère des travaux publics, pour 1880 et 1889, évaluent comme il suit la production du monde.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

DÉSIGNATION DES PAYS.		PRODUCTION. 1880.	PRODUCTION. 1889.
		tonnes.	tonnes.
Europe	Grande-Bretagne	18,296,000	14,779,000
	Allemagne	4,245,000	7,830,000
	Espagne	520,000	5,610,000
	Luxembourg	1,614,000	3,171,000
	France	2,874,000	3,070,000
	Autriche-Hongrie	949,000	1,681,000
	Russie	980,000	1,434,000
	Suède	775,000	986,000
	Belgique	254,000	202,000
	Italie	187,000	177,000
	Grèce	//	123,000
Amérique	États-Unis	7,230,000 (1)	14,750,000
Afrique	Algérie	614,000	352,000
Pays divers		51,000	193,000
	Totaux	38,589,000	54,358,000

(1) Chiffre correspondant à l'année 1881.

Ce tableau n'est pas absolument complet; il permet néanmoins d'apprécier l'énorme importance de l'exploitation des minerais de fer à la surface du globe.

La production et la consommation françaises ont varié dans les limites suivantes, depuis 1850 :

ANNÉES.	PRODUCTION.	IMPORTATION.	EXPORTATION.	CONSOMMATION.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
1850	1,821,000	13,000	1,000	1,833,000
1851 (1)	1,774,000	18,000	1,000	1,791,000
1855 (1)	3,876,000	55,000	1,000	3,930,000
1860	3,033,000	225,000	16,000	3,242,000
1867 (1)	3,279,000	492,000	150,000	3,621,000
1870	2,614,000	489,000	145,000	2,958,000
1878 (1)	2,470,000	932,000	80,000	3,322,000
1880	2,874,000	1,168,000	115,000	3,927,000
1881	3,032,000	1,287,000	88,000	4,231,000
1882	3,467,000	1,426,000	121,000	4,772,000
1883	3,298,000	1,601,000	105,000	4,794,000
1884	2,977,000	1,413,000	120,000	4,270,000
1885	2,318,000	1,420,000	90,000	3,648,000
1886	2,286,000	1,159,000	104,000	3,341,000
1887	2,579,000	1,155,000	281,000	3,453,000
1888	2,842,000	1,310,000	294,000	3,858,000
1889 (1)	3,070,000	1,442,000	262,000	4,250,000

(1) Année d'exposition universelle.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Nos principaux gîtes sont situés dans les départements de Meurthe-et-Moselle, de la Haute-Marne, de Saône-et-Loire, de l'Ardèche, de Lot-et-Garonne, du Calvados, des Pyrénées-Orientales, de l'Isère, du Gard, de la Loire-Inférieure, de l'Aveyron. Ils fournissent des minerais hydroxydés oolithiques, de l'hématite brune, d'autres minerais hydroxydés, de l'hématite rouge et du fer oligiste, du fer carbonaté spathique. C'est le minerai hydroxydé oolithique qui constitue de beaucoup la plus forte part des produits : 2,668,000 tonnes sur 3,070,000. Il est presque entièrement extrait des mines de Meurthe-et-Moselle.

M. Martelet donne d'intéressantes indications sur la vaste formation ferrifère de ce département, qui du reste se prolonge au delà de la frontière et va de Nancy à Esch-sur-l'Alzette (Luxembourg), s'étendant ainsi sur une longueur de plus de 100 kilomètres. La puissance de cette formation est en moyenne de 12 mètres, répartis entre quatre étages : à la partie supérieure se trouve du calcaire ferrugineux ayant une teneur de 20 à 25 p. 100 de fer et donnant une excellente castine; au-dessous viennent la mine rouge, la mine grise et la mine noire, dont la teneur varie de 35 à 42 p. 100, avec 0.6 de phosphore, et qui deviennent plus riches, mais en même temps plus siliceuses et plus friables, au fur et à mesure que l'on descend. Deux groupes principaux d'exploitation existent, l'un autour de Nancy, l'autre près de Longwy. Après la guerre de 1870, la quantité de minerai extraite dans Meurthe-et-Moselle était de 1 million de tonnes environ; elle a atteint 2,413,000 tonnes en 1889; le prix moyen de la tonne est descendu de 4 fr. 18 en 1873 à 2 fr. 60 en 1887, pour se relever à 2 fr. 84 en 1889.

Malgré ses ressources, la France ne peut suffire à sa consommation. Pendant l'année 1889, elle a importé 918,000 tonnes d'Allemagne et du Luxembourg, 436,000 tonnes d'Espagne, 36,000 tonnes d'Algérie, 33,000 tonnes de Belgique et 19,000 tonnes de plusieurs autres pays. L'exportation, de beaucoup inférieure à l'importation, est dirigée vers la Belgique, l'Allemagne, les Pays-Bas, etc.

L'Algérie possède deux centres importants d'exploitation à Aïn-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Mokra (fer oxydulé magnétique) et à R'ar-el-Baroud (hématite rouge manganésifère). Sa production, qui était de 614,000 tonnes en 1880, s'est abaissée à 352,000 tonnes en 1889. Les minerais algériens n'ont d'autre débouché que l'exportation; ils vont en Angleterre, aux États-Unis, dans les Pays-Bas, en Belgique, en France. Nos usines en consomment beaucoup moins qu'autrefois.

En Angleterre, les groupes les plus considérables sont dans diverses régions de l'Écosse; dans le Cleveland, le Durham, le Cumberland et le Lancashire; dans le Staffordshire; dans le pays de Galles.

L'Espagne à de magnifiques gisements, voisins du golfe de Gascogne et de la Méditerranée, et par suite admirablement situés au point de vue de l'exportation. Parmi les gîtes les plus célèbres est celui de Somorrostro, qui donne des hématites brunes (campanil, vena et rubio). La production du district de Bilbao ne dépassait pas 30,000 tonnes en 1862 : depuis 1882, elle a livré, bon an mal an, 3 à 4 millions de tonnes à l'exportation par la rivière de Bilbao.

Il résulte des statistiques exposées par l'Administration des mines du grand-duché de Luxembourg qu'en vingt ans la quantité de minerai de fer extraite dans ce pays a quadruplé.

La Russie est une des contrées les plus riches de l'Europe, en minerais de fer de qualité. Aux gîtes bien connus de l'Oural et du Caucase se joint la grande formation ferrifère de Krivoï-Rog, au sud-ouest d'Ekatérinoslav, qui présente une longueur de 60 kilomètres sur 4 à 6 de largeur et dont la puissance atteint jusqu'à 60 mètres; la teneur de cette formation en fer s'élève souvent à 70 p. 100; il y a là une véritable fortune minérale.

Le *manganèse* est ordinairement associé au fer dans les minerais; il a un rôle important dans la métallurgie.

En 1880, la production des minerais de manganèse dans le monde entier était évaluée à 55,000 tonnes; en 1889, elle a été de 200,000 tonnes, dont 78,000 pour la Russie, 45,300 pour l'Allemagne, 25,900 pour les États-Unis, 10,200 pour la France, 9,000 pour la Grande-Bretagne.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Notre centre principal d'exploitation est dans le département de Saône-et-Loire; malheureusement le minerai qui en provient s'appauvrit et ne peut guère être employé que par les usines à fer, pour la fabrication du ferro-manganèse. L'importation de 1889 n'a pas été inférieure à 38,000 tonnes.

Aux minerais de fer il y a lieu de rattacher aussi les *fers chromés*, aujourd'hui très recherchés dans la métallurgie de l'acier. Les gisements de ce précieux minerai sont rares.

M. Martelet cite les exploitations de la Nouvelle-Calédonie, de la Grèce, de l'Oural, du Canada, des États-Unis.

e. *Minerais métalliques divers.* — La statistique de 1889 donne le chiffre de 4,271,000 tonnes pour la production des *minerais de cuivre*, non compris les États-Unis, savoir : Espagne, 3,202,000 tonnes; Allemagne, 564,000; Portugal, 400,000; Chili, 111,000; Russie, 108,000; Italie, 47,000; Cap, 41,000; Suède et Norvège, 32,000; Vénézuela, 25,000; Japon, 22,000; Australie, 14,000; etc. Absolument déshéritée, la France trouve heureusement des ressources en Algérie (9,100 tonnes) et dans la Nouvelle-Calédonie (3,000).

De tous les pays que comprend cette statistique, c'est l'Espagne qui a été le plus largement dotée par la nature. Les gisements de Rio-Tinto, de Tharsis, de Calanas et de la Zarza ont une puissance extraordinaire; mais leur teneur est faible, et le premier rang, au point de vue de la production du cuivre, appartient à l'Amérique du Nord.

Par suite de circonstances inutiles à rappeler ici, l'exploitation des mines de cuivre avait pris, de 1886 à 1888, une activité anormale; elle a dû subir depuis un ralentissement marqué.

D'après les documents publiés par le Ministère des travaux publics, la quantité de *minerai de plomb* extraite en 1889 dans les diverses parties de l'Europe se serait élevée à 1,023,000 tonnes : Espagne, 540,000; Allemagne, 191,000; Autriche-Hongrie, 102,000; Grande-Bretagne, 49,000; Russie, 38,000; Italie, 35,000; France, 21,000; etc.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En France, la principale exploitation est celle de Pontpéan (Ille-et-Vilaine); puis viennent celles de l'Aveyron, du Puy-de-Dôme, des Hautes-Pyrénées, du Var, du Tarn, du Gard, de l'Ariège. L'Algérie a d'assez nombreux gisements de plomb; mais l'exploitation de ces gisements est peu développée.

L'extraction des *minerais de zinc* en 1889 a fourni, pour l'Europe, 1,132,000 tonnes : Allemagne, 709,000 tonnes; Italie, 87,000; Espagne, 74,000; Suède, 59,000; France et Algérie, 47,000; Grèce, 43,000; Russie, 38,000; Autriche, 30,000; Grande-Bretagne, 24,000; Belgique, 21,000; etc. Ces minerais ont des valeurs très inégales.

Nos départements les mieux dotés sont ceux du Var, du Gard, de la Drôme, de l'Ariège, des Basses-Pyrénées. L'Algérie possède des mines importantes de blende et de calamine.

A l'étranger, le rapporteur du jury mentionne spécialement les mines de Malfidano (Italie), d'Oyarzun, Motrico, Cegama, Udias, etc. (Espagne), du Laurium (Grèce).

En ce qui concerne les *minerais d'étain*, la statistique publiée par le Ministère des travaux publics n'accuse, pour la production de 1889, qu'un total de 27,000 tonnes, dont 14,000 tonnes fournies par la Grande-Bretagne, 5,300 par la Tasmanie et 3,900 par l'Australie. Mais cette statistique est incomplète. M. Martelet estime la consommation totale de l'étain, en 1888, à 53,000 tonnes, savoir : 23,000 tonnes ayant servi à la fabrication du fer-blanc, et 30,000 tonnes s'étant réparties entre l'Europe (8,000), les États-Unis (16,000) et les autres pays (6,000). La production se serait élevée à 56,500 tonnes : Malaisie, 28,000; Amérique, Tasmanie et continent européen, 12,700; Grande-Bretagne, 9,200; Australie, 6,600.

Les îles de la Sonde, comme la Malaisie continentale, renferment de nombreux gisements d'étain, découverts à Bangka, au commencement du XVIII^e siècle. On rencontre aussi des gîtes abondants sur la côte orientale de l'Australie et en Tasmanie.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Au cours de l'année 1889, l'exploitation des mines de la Villeder (Morbihan) et de Montebras (Creuse) a été reprise; les travaux ont simplement consisté en recherches.

Le seul *minerai de mercure* est le sulfure ou cinabre, qui faisait déjà, dans l'antiquité, l'objet d'une exploitation active. Actuellement la production annuelle de mercure peut être évaluée à 4,500 tonnes. Pendant l'année 1889, l'Espagne en a fourni 1,865 tonnes; les États-Unis, 1,145; l'Autriche-Hongrie, 577; le Mexique, 350; l'Italie, 339; la Russie, 64.

En Espagne, l'exploitation se concentre à peu près exclusivement sur le gîte d'Almaden. Aux États-Unis, il faut citer en première ligne la zone voisine de la baie de San-Francisco. M. Martelet signale, comme appelé à beaucoup d'avenir, le gisement de Nikitowka en Russie.

Peu de temps avant l'Exposition de 1878, le *nickel* n'était guère employé qu'à l'état de maillechort, c'est-à-dire d'alliage avec le cuivre. Il valait jusqu'à 30 francs le kilogramme. La consommation ne dépassait pas 400 à 500 tonnes par an.

Une véritable révolution a été opérée par la découverte des gisements néo-calédoniens. Le prix du métal est descendu jusqu'à 5 francs et la consommation est montée à plus de 2,000 tonnes en 1889. Par suite de leurs propriétés remarquables, les alliages de fer et de nickel sont aujourd'hui recherchés, spécialement pour les étuis des balles de fusil. Le minerai de nickel se rencontre en Nouvelle-Calédonie, sous forme d'hydrosilicate double de nickel et de magnésie, et constitue de vastes amas encaissés dans des roches serpentineuses. Actuellement on transforme les minerais en mattes par fusion au cubilot en présence du sulfate de chaux ou d'autres matières sulfurées; ces mattes sont envoyées en Europe.

Le *cobalt* se trouve également en Nouvelle-Calédonie, à l'état de cobalt oxydé noir.

D'après la statistique dressée par le Ministère des travaux publics,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la production de cette colonie en minerais de nickel et de cobalt a respectivement atteint 19,700 et 2,200 tonnes pendant l'année 1889.

La Suède et surtout la Norvège sont bien dotées. On fonde de grandes espérances sur certains gisements du Canada.

Peu utilisé, l'*antimoine* ne donne lieu qu'à une exploitation restreinte. Le principal minerai est le sulfure ou stibine. On en extrait 2,200 tonnes sur le territoire français (Corse, Haute-Loire, Lozère, Cantal) et 2,100 tonnes sur le territoire portugais.

Je me borne à signaler, pour le *bismuth*, les gîtes de Bolivie, ceux du Mexique, et celui que M. Adolphe Carnot a découvert près de Meymac (hydrocarbonate).

f. *Métaux précieux.* — Jusqu'à la découverte des gisements de Californie et d'Australie, l'*or* entrait à peine pour un tiers dans la valeur totale des métaux précieux. L'exploitation de ces gisements a profondément modifié les choses et, dès 1878, le rapporteur du jury pouvait affirmer que l'or tenait une place à peu près égale à celle de l'argent. C'est en 1852 que la production de l'or a atteint son maximum (912 millions de francs); depuis elle s'est notablement abaissée: la statistique de 1889 l'évalue à 636 millions.

L'Australie, la Nouvelle-Zélande et la Tasmanie tiennent la tête, avec une production de 53,955 kilogrammes. Vers la fin de l'année 1887, la valeur totale de l'or tiré de ces régions dépassait 8 milliards.

Au second rang se placent les États-Unis; en 1889, ils ont donné 49,353 kilogrammes d'or, extraits pour une large part des sables aurifères de la Californie et des États voisins.

La Russie a produit, en 1889, 37,281 kilogrammes, valant plus de 117 millions. On sait du reste que l'or constitue la meilleure richesse minérale de ce grand empire. L'exploitation porte principalement sur les dépôts d'alluvions de la Sibérie orientale; mais l'Oural possède aussi des dépôts importants.

Après la Russie viennent la Chine (13 500 kilogrammes) et la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

République Sud-Africaine (15,392 kilogrammes). L'existence de l'or dans le sud de l'Afrique paraît avoir été connue dès la plus haute antiquité; cependant l'exploitation active et fructueuse des conglomérats aurifères date à peine de quelques années. Parmi les différentes zones aurifères, la plus riche est celle du Witwatersrand. Des villes très peuplées y sont sorties de terre, comme par un coup de baguette. Malgré les écarts d'une spéculation effrénée, les résultats sont considérables; certaines compagnies distribuent jusqu'à 21 p. 100 de dividende, et l'Afrique australe est certainement destinée à devenir l'un des centres les plus productifs du globe.

Citons encore le Cap; la Colombie, qui est certainement une des contrées aurifères les plus riches du nouveau monde; le Chili; le Vénézuela, avec sa célèbre mine du Callao, dont la production, de 1871 à 1888, a atteint 125 millions de francs (sur lesquels 47 millions distribués en dividende aux actionnaires); le Mexique, où l'extraction annuelle représente une valeur de 15 millions; le Brésil, dont les gisements sont connus depuis 1663; le Pérou, la Bolivie, la République Argentine, le Canada, le Japon, les Guyanes, l'Autriche-Hongrie, la Grande-Bretagne, etc.

Dans la Guyane française, la production annuelle est de 6 à 7 millions de francs. L'or y a été découvert en 1854 et s'y rencontre en abondance; malheureusement les conditions économiques du pays sont peu favorables à une exploitation active.

L'exploitation des *minerais d'argent* a pris un développement considérable. En 1852, on évaluait à 202 millions la valeur de l'argent produit sur tout le globe; en 1889, les statistiques enregistrent un chiffre de 870 millions.

Pour l'argent comme pour l'or, le premier rang appartient aux États-Unis, qui possèdent des gisements d'une extrême richesse, notamment dans l'État de Nevada et le Colorado, et dont la production pendant l'année 1889 s'est élevée à 1,555,000 kilogrammes (333 millions de francs).

Il n'est pas de pays aussi abondamment pourvu que le Mexique.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les nombreux gîtes de cette région ont fourni, en 1889, 1,336,000 kilogrammes (286 millions de francs).

Du reste, la plupart des contrées de l'Amérique sont parfaitement dotées. C'est ainsi que la Bolivie a une production de 230,000 kilogrammes; on a pu admirer au Champ de Mars les expositions de plusieurs compagnies, en particulier celle de la puissante Société de Huanchaca, qui exploite le vaste gisement de Pulacayo et qui n'a pas hésité à construire un chemin de fer de 640 kilomètres, une canalisation d'eau de 314 kilomètres et un port. A la suite de la Bolivie se placent le Chili (186,000 kilogrammes), le Pérou, le Guatémala, le San Salvador, la Colombie.

Plusieurs pays de l'Europe, l'Allemagne, la France, l'Espagne, l'Autriche-Hongrie, l'Italie, la Belgique, la Grande-Bretagne, la Russie, la Suède et la Norvège, extraient des quantités assez notables d'argent, soit des minerais argentifères de plomb ou de zinc, soit des minerais d'argent proprement dits. Le Japon a des mines d'une certaine importance.

Le *platine* existe à l'état natif dans un grand nombre de régions, où il accompagne ordinairement les sables aurifères des alluvions modernes. On le trouve en Sibérie, aux Indes néerlandaises, en Colombie, au Brésil, en Californie, en Australie et au Transvaal; l'exploitation a pour sièges principaux la zone aurifère de l'Oural, pour laquelle les statistiques de 1889 indiquent une production de 4,400 kilogrammes, ainsi que la partie septentrionale de la Colombie. Des méthodes ingénieuses, dues à MM. Sainte-Claire Deville et Debray, permettent de séparer le platine, pur ou combiné avec l'iridium, des autres métaux qui lui sont associés.

C'est au Brésil, dans les sables aurifères provenant de la décomposition des itabirites, que se rencontre surtout le *palladium*.

Par sa légèreté et son inaltérabilité, l'*aluminium* convient à de nombreux usages, par exemple à la fabrication des instruments d'optique, de physique, de chirurgie, de musique, ainsi que des ustensiles de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

table et de cuisine. Même à dose très minime, il modifie les caractères des métaux auxquels il est allié; un millième ou un demi-millième d'aluminium suffit pour empêcher tout dégagement de gaz pendant la solidification de l'acier et pour rendre ce métal plus doux, plus homogène, plus résistant.

Le bronze d'aluminium se recommande par sa résistance et rend d'utiles services dans certaines pièces de machines; il donne d'excellents fils.

Wœhler a, le premier, isolé l'aluminium, en 1827, par l'action du potassium sur le chlorure d'aluminium. Mais l'honneur d'en avoir inauguré la production industrielle revient à H. Sainte-Claire Deville. Les procédés d'élaboration sont, les uns chimiques, les autres électriques. Dans les méthodes chimiques, on décompose par le sodium de l'alumine à l'état de combinaison (bauxite, alun, cryolithe); dans les méthodes électriques, l'électricité agit, tantôt comme source de chaleur, tantôt comme agent de décomposition, pour réduire l'alumine ou la cryolithe, et donner, soit de l'aluminium pur, soit du bronze d'aluminium, soit du ferro-aluminium.

D'après les statistiques de 1889, la France fournirait 19,000 tonnes de minerai; la Grande-Bretagne, 9,300; l'Italie, 2,800. La quantité de métal produite en France atteindrait 15,000 kilogrammes; elle serait de 9,000 kilogrammes aux États-Unis et de 5,000 kilogrammes en Angleterre. Ces renseignements sont incomplets : la Suisse, notamment, produit 90 tonnes d'aluminium, 1,500 tonnes de bronze d'aluminium et 1,000 tonnes de ferro-aluminium. Rappelons encore que la cryolithe provient du Groënland.

g. *Pyrites de fer et soufre.* — Les *pyrites de fer* jouent un rôle important dans la fabrication de l'acide sulfurique et sont l'objet d'une consommation sans cesse croissante; leur valeur dépend non seulement de la pureté du minerai et de sa richesse en soufre, mais aussi de la nature de la gangue.

Elles donnent lieu à une exploitation qui dépasse 600,000 tonnes. Les pays où on en extrait le plus sont : la France (203,000 tonnes),

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'Allemagne (119,000), les États-Unis (95,000), le Canada (66,000), l'Autriche-Hongrie (62,000), la Suède et la Norvège (56,000).

Notre production a plus que doublé en vingt ans, car elle ne dépassait pas 48,000 tonnes en 1869. Sur 203,000 tonnes qu'extrait l'industrie française, 182,000 viennent de la belle mine de Sain-Bel (Rhône); le surplus est tiré du Gard, de la Dordogne et d'Ille-et-Vilaine.

On sait que le remplacement du *soufre* par les pyrites, dans la fabrication de l'acide sulfurique, a été compensé par les demandes de l'agriculture; aussi l'importance de l'exploitation s'est-elle accrue, au lieu de diminuer.

L'Italie conserve le premier rang avec une production de 371,000 tonnes, extraites principalement de la Sicile et, pour une faible part, de la Romagne et de la Toscane. Ensuite vient l'Espagne (25,000 tonnes). Le Japon figure aux statistiques pour 10,300 tonnes.

h. *Sel.* — La quantité de *sel* produite par les différents pays du monde était évaluée à 7,323,000 tonnes en 1880; elle l'est aujourd'hui à 8,962,000 tonnes :

DÉSIGNATION DES PAYS.		PRODUCTION. 1880.	1889.
		tonnes.	tonnes.
Europe.	Grande-Bretagne	2,685,000	1,978,000
	Russie	818,000	1,392,000
	Allemagne	667,000	1,038,000
	France	700,000	747,000
	Autriche-Hongrie	406,000	443,000
	Espagne	29,000	414,000
	Italie	333,000	413,000
Amérique.	États-Unis	861,000	1,270,000
Asie	Indes anglaises	768,000	1,047,000
Autres pays		56,000	220,000
	Totaux	7,323,000	8,962,000

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Voici quelle a été la progression en France depuis 1850 :

ANNÉES.	PRODUCTION.			IMPORTATION.	EXPORTATION.
	SEL GEMME.	SEL MARIN.	TOTAL.		
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
1850	66,000	429,000	495,000	10,500	74,000
1851 (1)	68,000	531,000	599,000	13,700	97,800
1855 (1)	86,000	390,000	476,000	14,800	117,200
1860	119,000	357,000	476,000	5,800	91,700
1867 (1)	213,000	362,000	575,000	5,500	124,100
1870	170,000	647,000	817,000	5,900	145,400
1878 (1)	258,000	313,000	571,000	6,000	170,000
1880	328,000	365,000	693,000	25,500	122,000
1881	303,000	448,000	751,000	14,000	124,000
1882	298,000	405,000	703,000	16,500	152,000
1883	325,000	412,000	737,000	13,500	151,500
1884	390,000	416,000	806,000	20,000	124,000
1885	389,000	312,000	701,000	15,000	145,500
1886	420,000	301,000	721,000	20,000	156,500
1887	417,000	301,000	718,000	27,000	133,000
1888	464,000	167,000	631,000	40,000	115,000
1889 (1)	485,000	262,000	747,000	42,000	93,000

(1) Année d'exposition universelle.

A l'inspection de ce tableau, on voit l'accroissement continu de la production du sel gemme; on constate, en même temps, une diminution sensible de la production des marais salants. Cette diminution doit être attribuée, pour une certaine part, aux mauvaises récoltes des dernières années; mais elle tient aussi à ce que les sels du littoral sont refoulés par les sels extraits des mines ou sources d'eau salée.

En 1889, la surface des marais salants livrés à l'exploitation a été de 21,000 hectares environ, répartis entre 13 départements, dont 7 sur le littoral de la Méditerranée et 6 sur les côtes de l'Atlantique (Bouches-du-Rhône, Gard, Hérault, Var, Charente-Inférieure, Aude, Loire-Inférieure, etc.).

Pour le sel gemme, la plus forte production est celle des immenses gisements de Meurthe-et-Moselle (385,000 tonnes). Ces gisements se trouvent intercalés dans l'étage supérieur du trias. La mutilation

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

du territoire, après la guerre de 1870-1871, en a fait passer une partie entre les mains de l'Allemagne. Ils sont exploités, tantôt à la mine, tantôt par dissolution. Le surplus est fourni par le Jura, le Doubs, les Basses-Pyrénées, la Haute-Saône, les Landes et la Haute-Garonne.

L'exportation est dirigée principalement sur la Belgique et sur Saint-Pierre (pour la pêche). Quant à l'importation, elle comprend des sels revenant de Saint-Pierre et des sels expédiés d'Algérie; notre colonie africaine a produit 30,000 tonnes en 1889.

Pendant la dernière période décennale, le prix de la tonne de sel gemme a subi des fluctuations considérables : après s'être élevé de 23 francs en 1876 à 47 fr. 80 en 1880, il est descendu à 22 francs en 1886, pour remonter ensuite de quelques francs. Le sel marin, qui valait 11 francs en 1875, vaut aujourd'hui un peu plus de 20 francs.

L'énorme production de la Grande-Bretagne vient, pour la majeure partie, du Cheshire et du Worcestershire. En Russie, ce sont les mines de Bakmouth, ainsi que les lacs salés de Crimée et de la région d'Astrakan, qui fournissent presque tout le sel.

i. *Phosphates de chaux.* — Depuis quelques années, l'utilisation agricole des *phosphates de chaux* naturels s'est considérablement développée. La France est riche en phosphates que l'on rencontre à l'état de nodules, de rognons ou de sable, dans différentes assises de la série sédimentaire, notamment dans le terrain crétacé et le terrain jurassique. C'est vers 1855 que l'exploitation régulière en a été entreprise; l'importante découverte des sables phosphatés de Doullens ne remonte qu'à 1886.

Le tonnage total des divers gisements reconnus dépasse 32 millions de tonnes. Pendant la période de 1886 à 1889, l'extraction est passée de 184,000 à 538,000 tonnes. Les départements où elle est le plus active sont : la Somme (200,000 tonnes), le Pas-de-Calais (180,000), la Meuse (57,000), l'Oise (27,000), le Lot (18,000), les Ardennes (10,000). On estime à 19 p. 100 la proportion minimum d'acide phosphorique et à 39 p. 100 la proportion maximum.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Il existe des amas considérables de phosphates dans d'autres pays, spécialement en Belgique et en Espagne.

Les scories basiques provenant des usines métallurgiques où s'opère la déphosphoration de l'acier fournissent dès aujourd'hui un appoint appréciable à la consommation agricole. Parmi les principaux centres de production, il y a lieu de citer en particulier ceux où se pratique la déphosphoration au convertisseur, suivant le procédé Thomas-Gilchrist (Longwy, Jœuf, Valenciennes, le Creusot); leur produit annuel est de 30,000 à 40,000 tonnes.

j. *Roches d'ornement.* — M. Martelet a groupé dans son rapport d'intéressantes indications sur les *roches d'ornement* (*marbres* de France, d'Algérie, de Tunisie, de Belgique, d'Espagne, de Portugal, d'Italie, de Grèce); *serpentines* de la Nouvelle-Calédonie; pierre bleue ou *petit granit* de Belgique; *granits* d'Italie, de Russie, de Finlande, de Norvège, du Brésil; *porphyres* de Belgique; *grès* bruns des États-Unis; *jade néphrite* de Sibérie; *ambre jaune* des côtes de la Baltique, etc.

Il insiste en particulier, et avec beaucoup de raison, sur les *bois agatisés* ou *opalisés* de l'Arizona, qui constituaient l'une des nouveautés et des curiosités de la section des États-Unis. Ces bois sont les restes fossiles de forêts primitives et se rencontrent dans le Colorado, la Californie et d'autres États de l'Ouest. Toutes les particules organiques ont été remplacées par de la silice, et cependant la forme extérieure du tronc, la structure intérieure, les dispositions de la moelle, du ligneux, de l'écorce, les filets rayonnants, les anneaux concentriques de croissance sont admirablement conservés. En se substituant aux molécules fibreuses, pour faire de chaque arbre un bloc de quartz homogène, la silice a déposé avec elle des particules colorées, empruntant les nuances jaunes, rouges ou brunes à l'oxyde de fer, les violets et les noirs au manganèse ou au bois carbonisé. Il y a eu là un phénomène de métamorphisme remarquable, mariant la régularité du dessin de l'organisme végétal aux jeux de teinte les plus riches et les plus harmonieux.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

k. *Gemmes et pierres précieuses.* — De toutes les gemmes, la plus précieuse est le *diamant.* Pendant une longue série de siècles, c'est l'Asie, et en particulier l'Inde, qui a fourni de diamants le monde entier; on en tire encore aujourd'hui de l'Hindoustan.

Les gîtes diamantifères du Brésil ont été signalés pour la première fois en 1723; l'exploitation régulière de ces gîtes a commencé en 1772. Tous sont formés d'alluvions. Leur produit jusqu'en 1885 peut être évalué à 12 millions de carats ou 2 tonnes et demie, représentant une valeur de 500 millions. Ils donnent des diamants de très belle qualité, mais généralement de faibles dimensions (leur poids dépasse rarement 20 carats ou 4 gr. 10).

Quant aux gisements de l'Afrique australe, ils n'ont été découverts qu'en 1867 au West-Griqualand, dans une région dépendant alors de l'État libre d'Orange et revendiquée depuis par l'Angleterre. Kimberley en est le centre principal. Tout d'abord les gisements d'alluvions avaient seuls attiré l'attention; mais, vers la fin de 1870, on a découvert les mines sèches, consistant en de vastes cheminées verticales que remplissent des masses éruptives et qui traversent les couches sédimentaires. De 1871 à 1887, la production a été de 38,500,000 carats ou 7,892 kilogrammes, représentant une valeur de 1,200 millions. Le Cap fournit des diamants moins purs et moins blancs que ceux de l'Inde et du Brésil; mais, en revanche, le poids des pierres est plus élevé et atteint couramment 50 ou même 100 carats : les plus gros diamants trouvés jusqu'ici dans l'Afrique australe pesaient l'un 409 carats, l'autre 457 carats et demi.

On rencontre aussi des diamants dans l'île de Bornéo et dans la Nouvelle-Galles du Sud.

L'Exposition avait reçu des échantillons d'autres pierres, telles que topazes, améthystes, cymophanes, béryls, tourmalines, grenats, cristaux de quartz, agates, aigues-marines, chrysolithes, émeraudes, opales. Ces pierres venaient, pour la plupart, du Brésil, de la Colombie, du Mexique et du Salvador.

l. *Minéraux utiles divers. Collections.* — Dans son rapport, M. Mar-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

telet passe en revue divers minéraux utiles représentés au Champ de Mars : *graphites* de Sibérie, du Portugal, du Brésil, de la Serbie, des États-Unis, du Canada; *matériaux réfractaires* du Hainaut, de la province de Namur, de l'Isère, de la Seine-Inférieure, de la Grande-Bretagne; *kaolins* de l'Allier et de la Creuse; *gypses* et *plâtres* d'Algérie; *blancs minéraux* de la Champagne, des environs de Paris et de la région de Rouen; *ocres* de la Bourgogne, du Périgord, etc.; *sables* de Fontainebleau; *émeris* de l'île de Naxos, de Smyrne, de la Bretagne; *pierres ponces* de Ténériffe et d'Italie; *tripolis* de Saint-Marin; *pierres à aiguiser* de Norvège; *ardoises* du pays de Galles; *amiantes* de la Valteline, de la vallée d'Aoste, du Portugal, de la Tasmanie, du Brésil; *mica* de ce dernier pays; *talc* des États-Unis, etc.

Ces minéraux n'appellent ici aucune indication d'ordre général.

Je ne puis également que renvoyer au rapport spécial du jury, pour les belles collections exposées soit par les gouvernements, soit par les administrations, soit par des particuliers, et destinées à mettre en lumière les richesses minérales des différentes régions, ainsi que les progrès de la science et de l'industrie.

Au premier rang se plaçait la magnifique exposition de notre École nationale supérieure des mines. Cette école, d'où sont sortis tant de savants illustres, tant d'ingénieurs éminents, reste digne de sa vieille réputation.

2. Métaux usuels. — a. *Fontes brutes.* — En tête des métaux usuels se placent les *fontes brutes* d'affinage et de moulage, les fontes à acier pour traitement acide ou basique, et les fontes manganésées, siliciées ou chromées à hautes teneurs qui se fabriquent au haut fourneau.

Les procédés de la métallurgie devant être compris dans un autre chapitre de mon rapport général, je crois devoir réserver pour le moment où j'arriverai à ce chapitre l'exposé général des progrès techniques réalisés successivement par l'industrie de la fonte, aussi bien que par les industries productives des autres métaux. Seuls, les pro-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

duits envisagés en eux-mêmes feront ici l'objet d'indications sommaires.

D'après les statistiques du Ministère des travaux publics, la production de la fonte sur la surface entière du globe peut être évaluée comme il suit, en 1880 et 1889 :

DÉSIGNATION DES PAYS.		PRODUCTION. 1880.	1889.
		tonnes.	tonnes.
Europe	Grande-Bretagne	7,865,000	8,456,000
	Allemagne	2,728,000	3,963,000
	France	1,725,000	1,734,000
	Belgique	608,000	832,000
	Autriche-Hongrie	465,000	843,000
	Russie	434,000	746,000
	Luxembourg	261,000	562,000
	Suède et Norvège	406,000	422,000
	Espagne	86,000	165,000
	Italie	18,500	13,500
Amérique	États-Unis	3,896,000	7,725,000
	Canada	//	24,000
Océanie	Australie	3,000	2,200
Asie	Japon	1,100	7,000
	Totaux	18,496,600	25,494,700

Il ne sera pas sans intérêt de récapituler par quelques chiffres les étapes des grands pays producteurs, depuis notre première Exposition universelle jusqu'en 1880.

DÉSIGNATION DES PAYS.	1855.	1860.	1867.	1870.	1878.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Grande-Bretagne	3,218,000	3,888,000	4,837,000	6,059,000	6,401,000
Allemagne	420,000	529,000	1,114,000	1,391,000	2,148,000
France	849,000	898,000	1,229,000	1,178,000	1,521,000
Belgique	294,000	320,000	423,000	565,000	519,000
Autriche-Hongrie	284,000	313,000	320,000	403,000	434,000
Russie	251,000	298,000	288,000	360,000	418,000
Suède et Norvège	190,000	189,000	255,000	297,000	334,000
États-Unis	711,000	834,000	1,326,000	1,692,000	2,338,000

Ces deux tableaux montrent le chemin parcouru depuis moins d'un

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

demi-siècle. La Grande-Bretagne n'a cessé de tenir la tête; mais les États-Unis s'apprêtent à la distancer. L'Allemagne a également fait d'énormes progrès. Quant à la France, après avoir occupé le deuxième rang, elle est descendue depuis longtemps déjà au quatrième; voici comment ont varié sa production, son commerce extérieur et sa consommation depuis 1820 :

ANNÉES.	PRODUCTION.	IMPORTATION.	EXPORTATION.	CONSOMMATION.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
1820.....	112,500	5,450	1,600	116,000
1830.....	226,000	9,300	400	235,000
1840.....	348,000	16,000	200	364,000
1850.....	406,000	33,000	120	439,000
1851 (1).....	446,000	33,000	400	478,000
1855 (1).....	849,000	118,000	400	967,000
1860.....	898,000	84,000	48,000	934,000
1867 (1).....	1,229,000	136,000	76,000	1,289,000
1870.....	1,178,000	113,000	79,000	1,213,000
1878 (1).....	1,521,000	173,000	39,000	1,655,000
1880.....	1,725,000	162,000	44,000	1,843,000
1881.....	1,886,000	289,000	39,000	2,136,000
1882.....	2,039,000	311,000	34,000	2,316,000
1883.....	2,069,000	320,000	34,000	2,355,000
1884.....	1,872,000	217,000	30,000	2,059,000
1885.....	1,631,000	197,000	36,000	1,792,000
1886.....	1,517,000	153,000	42,000	1,628,000
1887.....	1,568,000	137,000	116,000	1,589,000
1888.....	1,683,000	136,000	73,000	1,746,000
1889 (1).....	1,734,000	136,000	191,000	1,679,000

(1) Année d'exposition universelle.

Notre production totale de 1,734,000 tonnes, en 1889, comprend 1,316,000 tonnes de fonte brute d'affinage, 352,000 tonnes de fonte brute pour moulage en deuxième fusion et 65,700 tonnes de fonte moulée en première fusion.

Elle se répartit entre neuf groupes principaux.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

GROUPES.	PRODUCTION.
	tonnes.
Meurthe-et-Moselle	943,000
Nord et Pas-de-Calais	315,000
Sud-Est et Dauphiné	117,000
Loire et Rhône	117,000
Champagne	83,000
Pyrénées et Landes	64,000
Centre	38,000
Périgord et Aveyron	29,000
Nord-Ouest	28,000

On voit que le département de Meurthe-et-Moselle figure à lui seul pour la moitié du chiffre total. Il doit cette prépondérance à son admirable gisement ferrifère. Au lendemain de la guerre, en 1872, sa production ne dépassait pas 217,000 tonnes; le simple rapprochement entre ce chiffre et celui de 1889 met en lumière l'espace qu'il a franchi en moins de vingt ans. Deux groupes métallurgiques principaux, ceux de Nancy et de Longwy, correspondent aux groupes d'exploitation minière : les usines de Longwy n'ont commencé à naître ou plutôt à se développer que vers 1863, après la construction du chemin de fer de la vallée de la Chiers.

L'essor pris par la métallurgie de Meurthe-et-Moselle n'a pas été sans nuire à celle de plusieurs autres régions : parmi les départements qui ont le plus souffert, on peut citer l'Allier, l'Ardèche, l'Aveyron, les Bouches-du-Rhône, la Haute-Marne, le Rhône, la Haute-Saône, Saône-et-Loire.

Sans progresser autant que Meurthe-et-Moselle, les départements du Nord et du Pas-de-Calais ont vu cependant croître leur production.

La fonte au charbon de bois ou aux deux combustibles ne forme plus qu'une fraction pour ainsi dire infinitésimale, moins de 1 p. 100. Si l'on se reporte à soixante-dix ans en arrière, on constate au contraire qu'en 1820 la proportion de fonte au combustible minéral seul ou mélangé de combustible végétal n'atteignait pas 2 p. 100. C'est à partir de 1828 que le coke a gagné du terrain; en 1852, l'équi-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

libre s'est établi et, depuis, le combustible végétal n'a cessé d'être refoulé.

Vers 1855, pour une production de 849,000 tonnes de fonte, nous avions près de 600 hauts fourneaux; aujourd'hui nous n'en avons plus que 116 pour une production de 1,734,000 tonnes. La quantité de fonte que donnent annuellement ces appareils ne cesse de s'accroître; certains d'entre eux fournissent jusqu'à 42,000 tonnes; dans les départements de Meurthe-et-Moselle et du Nord, la moyenne est respectivement de 23,000 et de 26,000 tonnes.

Les fontes importées viennent principalement d'Angleterre (56,000 tonnes), d'Allemagne (29,000 tonnes) et de Belgique (24,000 tonnes). Notre exportation est dirigée sur la Belgique (67,000 tonnes), sur l'Allemagne (64,000 tonnes), sur l'Italie (13,000 tonnes), sur la Suisse (13,000 tonnes).

Il y a environ cinquante ans, la tonne de fonte au charbon de bois valait 185 francs, et la tonne de fonte au coke seul ou mélangé de combustible végétal, 142 francs. De 1880 à 1889, le prix de la fonte au coke d'affinage a oscillé entre 83 et 51 francs, et celui de la fonte au coke moulée en première fusion, entre 178 et 104 francs.

Parmi les pays étrangers qui figuraient à l'Exposition, celui dont la production atteint le chiffre le plus élevé est, nous l'avons vu, la Grande-Bretagne; ses 424 hauts fourneaux en feu ont absorbé, en 1889, non seulement tous les minerais extraits dans le Royaume-Uni, mais encore 4 millions de tonnes de minerais tirés, pour la plus grande partie, de Bilbao ou de la Suède; l'exportation de fonte a été, pendant la même année, de 1,300,000 tonnes.

Les États-Unis, qui suivent de très près l'Angleterre, avaient, en 1889, 320 hauts fourneaux marchant à l'anthracite, au coke ou au charbon de bois. Près de la moitié de la production est fournie par la Pennsylvanie.

b. *Fers et aciers bruts ou ouvrés.* — De même que M. Martelet, rapporteur du jury de la classe 41, je réunirai ici les *fers* et les *aciers*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

bruts ou ouvrés, c'est-à-dire forgés, laminés ou coulés. Avec l'extension qu'ont prise les procédés d'affinage par fusion, il est quelquefois difficile d'indiquer le moment précis où finit et où commence chaque espèce de produits; souvent la distinction résulte plutôt du mode de fabrication que de la composition ou des propriétés.

Pendant la première moitié de ce siècle, on classait les aciers en trois catégories : 1° *aciers naturels,* produits par l'affinage des fontes aciéreuses, au charbon de bois, et par le corroyage des aciers bruts ainsi obtenus; 2° *aciers cémentés,* fabriqués par la cémentation ou la carburation des fers en barres, dans des fours construits à cet usage; 3° *aciers fondus,* préparés par la fusion au creuset de barres de fer cémentées et cassées en petits fragments. En 1850 apparurent les *aciers puddlés :* pour obtenir cette catégorie d'aciers, on affinait à la houille, dans un four à réverbère, des fontes manganésifères, au sein d'un bain de scories fluides; les loupes, d'un poids de 40 à 50 kilogrammes, étaient étirées au marteau. Six ans après, en 1856, *Bessemer* mettait au jour son admirable invention de la fonte directement convertie en acier fondu par des jets d'air comprimé, accomplissant à la fois l'oxydation, la chauffe et le brassage de la matière métallique. Un peu plus tard, en 1865, *M. Martin* parvenait à transformer également la fonte en acier fondu, par la décarburation de la fonte sur la sole d'un four à réverbère chauffé au gaz (procédé Siemens-Martin). En 1878, *MM. Thomas et Gilchrist* réussissaient dans leurs tentatives de déphosphoration des fontes au convertisseur Bessemer. L'Exposition de 1889 a révélé une invention nouvelle et intéressante, la garniture neutre en fer chromé, de *MM. Valton et Rémaury,* qui fait de la cuvette du four à sole un vase aux parois inattaquables.

Aujourd'hui on sait chasser du métal toutes les impuretés et y incorporer toutes les substances qui lui donnent les qualités voulues de douceur, d'homogénéité, de résistance, de dureté, de malléabilité, de ténacité, d'élasticité, de fluidité; les dimensions des masses fabriquées d'une seule pièce n'ont pour ainsi dire plus de limites.

La production de l'acier prend chaque jour une importance crois-

IMPRIMERIE NATIONALE

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sante; en dehors des aciéries proprement dites, la majorité des usines à fer se complètent par des fours à réverbère avec sole de dolomie, de magnésie ou de fer chromé, et produisent ainsi de l'acier et du fer homogène au moyen de leurs fontes ordinaires; peu à peu, le métal fondu prend la place du métal soudé, et l'on entrevoit le jour où le puddlage n'existera plus qu'à l'état d'exception. Un autre fait considérable est le développement des moulages d'acier qui tendent, eux aussi, à remplacer le métal forgé.

Voici quelle a été la production du fer et de l'acier dans la plupart des pays du monde, en 1880 et 1889 :

DÉSIGNATION DES PAYS.		FER.		ACIER.	
		1880.	1889.	1880.	1889.
		tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Europe.	Grande-Bretagne	2,720,000	2,290,000	1,780,000	3,570,000
	Allemagne	1,244,000	1,886,000	881,000	1,950,000
	France	966,000	809,000	389,000	529,000
	Belgique	474,000	577,000	55,000	215,000
	Autriche-Hongrie	619,000	483,000	237,000	305,000
	Russie	270,000	431,000	212,000	260,000
	Suède et Norvège	254,000	313,000	37,000	115,000
	Italie	68,000	182,000	3,500	158,000
	Espagne	49,000	59,000	500	28,000
	Luxembourg	(?)	6,000	(?)	109,000
Amérique.	États-Unis	2,116,000	2,346,000	1,267,000	2,976,000
Océanie.	Australie	3,600	(?)	(?)	(?)
	Totaux	8,783,600	9,382,000	4,862,000	10,255,000

Ce tableau met bien en évidence l'invasion de l'acier, ainsi que les progrès continus de la métallurgie, spécialement en Angleterre, aux États-Unis et en Allemagne.

Notre production et notre commerce extérieur ont varié dans les limites suivantes depuis 1820.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ANNÉES.	FERS.			
	PRODUCTION.	IMPORTATION.	EXPORTATION.	CONSOMMATION.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
1820	74,000	8,900	800	82,000
1830	148,000	6,300	300	154,000
1840	237,000	5,600	800	242,000
1850	246,000	4,100	1,300	249,000
1851 (1)	254,000	4,400	1,400	257,000
1855 (1)	557,000	55,000	2,300	609,000
1860	532,000	22,000	19,000	535,000
1867 (1)	776,000	70,000	44,000	802,000
1870	831,000	64,000	47,000	848,000
1878 (1)	837,000	124,000	114,000	847,000
1880	966,000	109,000	120,000	955,000
1881	1,026,000	147,000	112,000	1,061,000
1882	1,073,000	184,000	110,000	1,147,000
1883	979,000	169,000	123,000	1,025,000
1884	877,000	134,000	118,000	893,000
1885	782,000	103,000	115,000	770,000
1886	767,000	88,000	126,000	729,000
1887	772,000	97,000	175,000	694,000
1888	817,000	86,000	172,000	731,000
1889 (1)	809,000	80,000	215,000	674,000

ANNÉES.	ACIERS.			
	PRODUCTION.	IMPORTATION.	EXPORTATION.	CONSOMMATION.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
1820	(?)	670	24	(?)
1830	5,500	785	10	6,300
1840	8,300	900	32	9,100
1850	11,000	470	130	11,000
1851 (1)	14,000	420	53	14,000
1855 (1)	28,000	1,300	220	29,000
1860	30,000	2,200	1,200	31,000
1867 (1)	46,000	5,000	1,700	50,000
1870	94,000	3,300	1,200	96,000
1878 (1)	313,000	7,800	25,000	296,000
1880	389,000	13,000	23,000	379,000
1881	422,000	26,000	30,000	418,000
1882	458,000	54,000	26,000	486,000
1883	522,000	47,000	20,000	549,000
1884	503,000	22,000	23,000	502,000
1885	554,000	20,000	71,000	503,000
1886	454,000	14,000	65,000	403,000
1887	493,000	16,000	78,000	431,000
1888	517,000	13,000	46,000	484,000
1889 (1)	529,000	12,000	72,000	469,000

(1) Année d'exposition universelle.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le chiffre total de 809,000 tonnes, correspondant à la production du fer en 1889, comprend 687,000 tonnes de fers marchands et spéciaux, et 122,000 tonnes de tôle; à un autre point de vue, il se décompose en 672,000 tonnes de fer puddlé, 12,000 tonnes de fer affiné au charbon de bois et 125,000 tonnes de fer obtenu par réchauffage de vieux fers et riblons.

Quant au chiffre de 529,000 tonnes pour l'acier, il comprend 496,000 tonnes d'acier fondu (317,000 au foyer Bessemer et 179,000 au four Siemens-Martin) et 33,000 tonnes d'aciers divers (14,000 d'acier puddlé ou de forge, 1,600 d'acier cémenté, 13,000 d'acier fondu au creuset, 5,000 d'acier obtenu par réchauffage de vieil acier). Les aciers marchands et spéciaux y entrent pour 259,500 tonnes, les rails pour 166,000 et les tôles pour 104,000.

On compte 45 départements producteurs de fer. En tête viennent le Nord (322,000 tonnes), les Ardennes (68,000), Saône-et-Loire (63,000), la Haute-Marne (59,000), Meurthe-et-Moselle (41,000), la Loire (37,000), la Seine (34,000), l'Allier (30,000), le Jura (18,000), l'Oise (18,000), l'Aveyron (14,000), le Gard (13,000), la Loire-Inférieure (12,000), le Doubs (10,000).

Pour la production des lingots d'acier, il y a lieu de citer Meurthe-et-Moselle (152,000 tonnes), le Nord (125,000), Saône-et-Loire (69,000), le Pas-de-Calais (60,000), la Loire (51,000), le Gard (41,000), les Landes (37,000), la Loire-Inférieure (17,000), l'Allier (15,000), le Morbihan (13,000), le Jura (11,000). Ces lingots ne se travaillent pas tous sur place, et les départements producteurs d'aciers ouvrés se classent ainsi : Nord (92,000 tonnes), Loire (63,000), Saône-et-Loire (54,000), Pas-de-Calais (50,000), Meurthe-et-Moselle (43,000), Landes (32,000), Gard (32,000), Ardennes (23,000), Oise (19,000), Haute-Marne (18,000), Jura (16,000), Allier (41,000), Loire-Inférieure, Morbihan et Nièvre (chacun 12,000), etc.

L'importation nous vient principalement de Suède, pour les fers en barres au bois; d'Allemagne, pour les fers en barres au coke; d'Angleterre, pour les tôles; d'Angleterre, d'Allemagne, de Belgique,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de Suisse, des États-Unis, pour les machines, mécaniques, outils et ouvrages divers en fer; d'Angleterre, pour les barres d'acier; d'Angleterre, d'Allemagne et de Belgique, pour les machines, mécaniques, outils et ouvrages divers en acier. Notre exportation est très disséminée : ses principaux pays de destination sont la Belgique, l'Algérie et la Suisse, pour les fers; la Belgique et l'Angleterre, pour les machines et ouvrages divers en fer; la Belgique, le Portugal, la République Argentine, l'Algérie, l'Espagne, l'Allemagne, etc., pour l'acier.

Il y a un demi-siècle, la tonne de fer au bois coûtait jusqu'à 460 fr.; le fer à la houille atteignait 360 francs, l'acier de forge 830 francs, l'acier de cémentation 600 et 700 francs, l'acier fondu 1,600 francs. Pendant la période décennale de 1880 à 1889, le prix moyen des fers marchands et spéciaux a oscillé entre 214 et 141 francs, et celui des tôles de fer entre 335 et 210 francs. En ce qui concerne les aciers, les limites de prix, durant la même période, ont été 218 et 120 francs pour les rails Bessemer et Martin; 516 et 337 francs pour les aciers marchands puddlés et de forge; 547 et 363 francs pour les tôles puddlées; 772 et 508 francs pour les aciers marchands fondus au creuset.

La simple énumération de quelques pièces exposées en 1889 suffira pour faire comprendre toute l'étendue des ressources dont dispose actuellement la métallurgie française : lingot d'acier de 100 tonnes; plaques de blindage pesant 27 tonnes; tôles de 17 m. 20 de longueur sur 2 m. 92 de largeur et 0 m. 06 d'épaisseur; plaques laminées d'acier de 0 m. 60 d'épaisseur, pesant 40 tonnes; arbre coudé en fer forgé de 20 tonnes; large plat de fer, mesurant 38 m. 50 de longueur sur 0 m. 50 de largeur et 0 m. 009 d'épaisseur; cornières de 62 mètres de longueur; obus ayant subi l'épreuve du tir et traversé sans déformation sensible des plaques de fer de 0 m. 50 [1].

On voyait dans les galeries du Champ de Mars toute une série de

[1] A côté de ces spécimens aux proportions majestueuses, et comme pour les mettre mieux en relief, se trouvaient des feuilles de tôle dont l'épaisseur ne dépassait pas 1/50 de millimètre, des fils d'acier de 1/10 de millimètre.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pièces représentant les divers procédés de trempe à l'eau, à l'huile, au plomb, aux mélanges réfrigérants, aux solutions salines, aux alliages fusibles. Le but commun de ces différentes méthodes est de retarder ou d'empêcher le changement d'état moléculaire que détermine un refroidissement lent, et d'amener brusquement le métal à une température à laquelle cette modification interne ne puisse plus se produire.

c. *Pièces de forge.* — Après avoir dressé le bilan de l'industrie des fontes brutes et de la fabrication des fers et aciers bruts ou ouvrés, M. Martelet consacre un chapitre fort intéressant aux *pièces de forge.*

Il existe aujourd'hui, dans les grandes usines, deux modes de forgeage : l'un au marteau-pilon, l'autre à la presse. Plusieurs usines ont des marteaux de 100 tonnes; d'autres possèdent des presses dont la puissance s'élève jusqu'à 5,000 tonnes. Le pilon convient au cinglage des masses spongieuses, retenant une plus ou moins grande quantité de scories, et au soudage des pièces de fer obtenues par l'addition de mises successives; la presse, employée surtout pour les blindages, est plus spécialement apte à forger une matière homogène et élastique comme l'acier; elle exige d'ailleurs une température moins élevée que le marteau.

Je viens de citer les blindages. On les a faits d'abord en fer soudé, puis en métal mixte avec revêtement d'acier, enfin en acier seul. Il semble établi que les blindages d'acier sont les meilleurs : ce métal offre une résistance plus grande, se prête parfaitement au forgeage et présente, dans les qualités douces, une malléabilité au moins égale à celle du fer.

Depuis longtemps, les roues forgées constituent dans la Loire une branche importante de fabrication. C'est en 1854 que sont apparues ces roues faites de pièces assemblées et soudées à chaud par un effort énergique, de manière à former un tout homogène. Les galeries de l'Exposition comprenaient d'assez nombreux spécimens de roues conformes au type primitif ou s'y rattachant : roues à rais; roues pleines

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à disque plan ou ondulé; roues pleines à nervures; roues mixtes à jante en bois, spécialement appropriées à l'artillerie et au charronnage; roues pour locomotives, avec jante à épaisseur variable jouant le rôle de contrepoids.

L'industrie des tubes en fer est née sur le sol de la Grande-Bretagne, au commencement du XIX^e^ siècle. Ces tubes ont d'abord été soudés par rapprochement, puis par recouvrement au laminoir sur mandrin; la tôle soudée par recouvrement convient en particulier aux tuyaux de conduite qui doivent supporter une forte pression. Jusqu'à ces dernières années, on employait exclusivement le fer; aujourd'hui on commence à se servir de l'acier; il existe un procédé de laminage oblique, à frein, permettant d'étirer un lingot d'acier et d'y pratiquer un évidement intérieur. Une production également récente est celle des tubes de fumée à ailerons, c'est-à-dire à nervures longitudinales internes, disposition avantageuse au double point de vue de l'économie de combustible et de la quantité d'eau vaporisée.

De nombreux exposants montraient des types de chaînes fort remarquables, pour armement de navires, touage, appareils de levage, traînages mécaniques, etc. : chaînes simples ou à étais, chaînes-câbles, chaînes calibrées ou de précision, chaînes en fer ou en acier. On a revu en 1889 les chaînes d'acier sans soudure, qui avaient déjà figuré à l'Exposition de 1878.

Parmi les pièces forgées diverses, je signalerai les panneaux emboutis en tôle mince galvanisée, qui servent à former la double paroi de constructions entièrement en acier, ainsi que des châssis pour bogies et pour wagons ordinaires, faits en tôle d'acier découpée et emboutie sur les bords à la presse hydraulique.

d. *Fontes moulées.* — La production annuelle de *fonte de moulage* en première fusion était en moyenne de 130,000 tonnes pendant la période décennale 1847-1856 (47,000 tonnes de fonte au combustible végétal et 84,000 tonnes de fonte au combustible minéral seul ou mélangé); le prix moyen de la tonne de fonte au combustible

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

végétal s'élevait à 250 francs et celui de la fonte au combustible minéral à 215 francs. Durant la même période, nos fondeurs moulaient en deuxième fusion un peu plus de 100,000 tonnes par an, au prix de 340 francs.

De 1880 à 1889, notre production de fonte moulée en première fusion a oscillé entre 100,000 et 62,000 tonnes, et le prix moyen de la tonne entre 178 et 104 francs. En 1889, la France a produit 510,000 tonnes de fonte moulée en deuxième fusion, au prix de 218 francs.

Le département de Meurthe-et-Moselle fournit à lui seul plus de la moitié de la fonte moulée en première fusion. C'est en effet dans ce département que se trouve la belle usine de Pont-à-Mousson, d'où sortent par jour 3,000 mètres de tuyaux destinés, non seulement à la France, mais aussi aux grands centres étrangers de consommation.

Pour la fonte moulée en deuxième fusion, les principaux départements producteurs sont le Nord (62,000 tonnes), les Ardennes (62,000 tonnes), la Haute-Marne (44,000 tonnes), la Meuse (28,000 tonnes), Meurthe-et-Moselle (25,000 tonnes), le Pas-de-Calais (22,000 tonnes), la Sarthe (22,000 tonnes), l'Aisne (20,000 tonnes).

Les galeries du Champ de Mars comprenaient des spécimens très intéressants de fontes moulées en première ou en deuxième fusion, depuis des tuyaux monstres de 1 m. 80 de diamètre jusqu'aux objets artistiques les plus gracieux, tels que fontaines, statues, candélabres, balcons, etc.

On sait qu'il est possible d'obtenir de la *fonte malléable,* susceptible d'offrir une résistance analogue à celle du fer forgé. Pour cela, il suffit de décarburer plus ou moins les objets de fonte moulée, par un chauffage en vase clos au contact d'un mélange de sable et de minerai de fer non hydraté, sauf addition, s'il y a lieu, de matières propres à atténuer l'action oxydante du minerai. Ce procédé, très avantageux pour la fabrication économique des pièces de serrurerie, de ferronnerie, d'armurerie commune, s'est rapidement développé.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Plusieurs maisons françaises ont perfectionné cette fabrication, en y ajoutant une production d'aciers coulés spéciaux.

e. *Métaux usuels divers.* — Après le fer, les trois métaux les plus usuels sont le *cuivre*, le *plomb* et le *zinc*. La production des principaux pays du globe a été la suivante en 1880 et 1889 (ou 1888 pour certains pays) :

DÉSIGNATION DES PAYS.		CUIVRE.		PLOMB.		ZINC.	
		1880.	1889.	1880.	1889.	1880.	1889.
		tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Europe...	Allemagne	16,200	25,400	94,000	101,000	106,000	136,000
	Autriche-Hongrie	1,520	1,200	13,000	12,000	4,100	4,800
	Belgique	//	//	7,900	9,400	59,000	82,500
	Espagne	24,000	71,000	80,000	235,000	4,200	5,100
	France	3,600	1,600	6,500	5,400	16,000	18,000
	Grande-Bretagne	3,700	77,000	58,000	48,000	7,300	19,000
	Grèce	//	//	1,800	11,000	//	//
	Hollande	400	900	800	4,000	20,000	29,000
	Italie	300	5,300	12,500	17,500	//	//
	Russie	3,100	6,200	1,400	600	4,300	6,400
	Suède et Norvège	1,400	1,700	200	200	//	//
Amérique.	États-Unis	15,000	104,000	120,000	164,000	30,000	51,000
	Canada	//	2,500	//	300	//	//
	Bolivie	3,200	1,200	100	//	//	//
	Chili	37,000	50,000	//	//	//	//
	Vénézuela	5,800	5,000	//	//	//	//
	Autres pays	600	2,400	//	//	//	//
Océanie..	Australie	8,700	8,100	240	50,000	//	200
Asie.....	Japon	3,000	9,500	200	100	//	//
	Totaux	127,000	372,000	396,000	658,000	251,000	352,000

La production, le commerce extérieur et la consommation de la France ont varié comme l'indique le tableau ci-après, depuis 1830.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ANNÉES.	PRODUCTION.	IMPORTATION.	EXPORTATION.	CONSOMMATION.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
CUIVRE.				
1830	270	5,600	140	5,700
1840	110	7,800	470	7,400
1850	880	8,000	1,000	7,800
1851 (1)	1,900	6,200	1,000	7,200
1855 (1)	7,200	12,000	1,600	17,000
1860	6,400	13,000	700	19,000
1867 (1)	4,900	21,000	3,800	22,000
1870	6,600	19,000	4,800	21,000
1878 (1)	8,400	25,000	6,700	27,000
1880	3,600	25,000	4,200	25,000
1881	4,100	29,000	4,300	29,000
1882	4,100	26,000	2,600	28,000
1883	3,300	31,000	5,300	29,000
1884	3,900	24,000	6,100	22,000
1885	3,600	34,000	5,800	32,000
1886	3,500	23,000	5,100	21,000
1887	2,100	29,000	5,900	25,000
1888	2,200	48,000	6,250	44,000
1889 (1)	1,600	15,000	14,000	3,000
PLOMB.				
1830	800	16,000	240	17,000
1840	500	21,000	2,500	19,000
1850	600	18,000	440	18,000
1851 (1)	1,600	18,000	430	19,000
1855 (1)	5,500	24,000	640	29,000
1860	6,700	15,000	800	21,000
1867 (1)	4,400	37,000	6,200	35,000
1870	3,600	40,000	12,000	32,000
1878 (1)	9,800	52,000	9,400	53,000
1880	6,500	51,000	6,500	51,000
1881	7,100	60,000	7,500	59,000
1882	8,200	65,000	5,300	68,000
1883	7,800	69,000	5,600	71,000
1884	6,400	58,000	4,900	59,000
1885	4,900	57,000	5,900	56,000
1886	4,000	62,000	14,000	52,000
1887	6,000	63,000	11,000	58,000
1888	6,500	54,000	8,850	52,000
1889 (1)	5,400	61,000	11,000	56,000

(1) Année d'exposition universelle.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ANNÉES.	PRODUCTION.	IMPORTATION.	EXPORTATION.	CONSOMMATION.
	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
		ZINC.		
1830	//	1,700	20	1,500
1840	//	9,600	330	9,000
1850	//	13,000	700	12,000
1851 (1)	//	14,000	600	13,000
1855 (1)	240	26,000	900	25,000
1860	120	30,000	1,400	29,000
1867 (1)	3,500	46,000	5,700	44,000
1870	3,400	29,000	4,100	28,000
1878 (1)	14,000	33,000	5,000	42,000
1880	16,000	31,000	4,800	43,000
1881	19,000	43,000	5,600	56,000
1882	19,000	34,000	4,600	48,000
1883	16,000	39,000	3,500	52,000
1884	17,000	40,000	3,000	54,000
1885	15,000	33,000	3,200	45,000
1886	16,000	34,000	2,600	47,000
1887	17,000	36,000	4,900	48,000
1888	17,000	28,000	5,200	39,000
1889 (1)	18,000	28,000	5,600	40,000

(1) Année d'exposition universelle.

Nos principaux départements producteurs sont : pour le cuivre, les Ardennes (830 tonnes) et le Pas-de-Calais (585); pour le plomb, la Loire-Inférieure (3,100) et le Puy-de-Dôme (1,800); pour le zinc, l'Aveyron (6,200) et le Nord (11,800). La production proprement dite ne constitue d'ailleurs que l'une des branches de notre industrie, qui se livre aussi au raffinage et à la transformation de métaux importés.

M. Martelet insiste avec raison sur les progrès accomplis par l'industrie du zinc. Ce métal, connu des Chinois depuis des siècles, n'a été isolé en Europe que vers 1742 par Van Swab. L'un de ses principaux usages est la couverture des édifices; il s'emploie en feuilles ou en ardoises. On s'en sert aussi pour le doublage des navires; il se prête merveilleusement à l'estampage; ses qualités spéciales le rendent propre à la fabrication des ustensiles de ménage, à la galvanisation du fer, à la construction des piles électriques, etc.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'étain ne se produit que sur un petit nombre de points du globe, notamment dans la Grande-Bretagne (9,000 à 10,000 tonnes), dans les colonies néerlandaises (20,000 tonnes), en Australie (8,300 tonnes pour l'année 1880 et 4,700 tonnes pour l'année 1889). Cependant il était très connu et employé dès les temps anciens. On l'utilise, soit seul, soit allié à d'autres métaux comme dans le bronze et le métal anglais. La vaisselle d'étain, autrefois très commune, tend à disparaître.

Comme je l'ai déjà rappelé, la Nouvelle-Calédonie est aujourd'hui le grand centre de production du nickel. Il sert à la fabrication du maillechort (cuivre, nickel et zinc), à la confection d'appareils de laboratoire, de lampes, de boîtiers pour montres, de monnaies, à la préparation d'objets de fantaisie, etc. Les tôles de fer ou d'acier plaquées de nickel conviennent à des usages multiples. Parmi les qualités de ce métal, il y a lieu de citer principalement son inaltérabilité relative et la facilité avec laquelle il se prête à l'emboutissage.

f. *Alliages métalliques.* — On a de tout temps associé les métaux usuels et fait ainsi des alliages doués de qualités spéciales. C'est ainsi que les anciens alliaient le cuivre à l'étain, pour produire du *bronze*. Bien avant la découverte du zinc métallique, la calamine était mélangée au cuivre rouge fondu et ce mélange permettait d'obtenir du *laiton :* les annales du duché de Limbourg signalent l'exploitation des gîtes de la Vieille-Montagne, dès les premières années du xv^e^ siècle; à la même époque, Stolberg avait des *laitonniers* en renom.

J'ai déjà signalé l'alliage de cuivre, de zinc et de nickel (*maillechort parisien, maillechort anglais, argent allemand, alfénide, packfong chinois*). Le cuivre et le nickel fournissent la *silvérine;* un produit analogue résulte de l'union du cuivre et du cobalt.

Mais la connaissance des *alliages ferro-métalliques,* qui jouent aujourd'hui un si grand rôle, est tout à fait contemporaine. Il n'y a pas plus de vingt ans que ces alliages font l'objet d'un emploi raisonné dans la sidérurgie.

La présence du *manganèse* à faible dose avait déjà manifesté son

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

influence dans les *spiegeleisen*, quand sont venus les ferro-manganèses contenant 25, puis 60 et jusqu'à 85 p. 100 de ce métal. Au début, ces alliages servaient d'agent de réduction, à la fin de l'opération Bessemer, et, le cas échéant, d'agent de recarburation. Depuis, on les a employés au four à réverbère. Quand les additions faites en vue de réduire l'oxyde de fer dissous dans l'acier ne dépassent pas la proportion de 2 p. 100 de manganèse, le métal acquiert, avec une plus grande facilité de trempe, une notable augmentation de résistance, sans cesser d'être malléable; au delà de 2 p. 100, l'acier ne supporte plus le travail et la trempe devient impossible. Cependant l'Angleterre a produit récemment un acier nouveau, contenant de 7 à 21 p. 100 de manganèse, qui ne présente aucune soufflure et qui, tout en étant très dur, se lamine et se forge parfaitement; cet acier s'adoucit par la trempe à l'eau et reprend sa dureté par le réchauffage au rouge vif.

Le *silicium* exerce une action énergiquement réductrice; il supprime les soufflures dans les moulages d'acier et élimine partiellement le carbone de combinaison de la fonte, pour le précipiter à l'état de graphite. On produit couramment du ferro-silicium à 15 ou 18 p. 100 de silicium et du silico-spiegel à 10 ou 15 p. 100 de silicium et 15 ou 20 p. 100 de manganèse. Ajouté à l'acier, le ferro-silicium donne des alliages remarquables par leur élasticité et leur résistance à la rupture; mais la ductilité s'amoindrit au delà de 2 p. 100 de silicium et la malléabilité ne persiste pas au delà de 6 p. 100.

D'autres métaux, comme le *chrome*, l'*aluminium* et le *nickel*, forment avec l'acier des alliages industriels. Les aciers chromés offrent une résistance au choc et à la rupture qui les rend particulièrement aptes à certains usages; si leur fabrication offre quelques difficultés spéciales, ils peuvent, une fois coulés en lingots, être traités comme des aciers ordinaires. De même que le silicium, l'aluminium employé à faible dose supprime les soufflures de l'acier coulé. Les alliages d'acier et de nickel peuvent répondre pour ainsi dire à tous les besoins, suivant leur teneur en nickel : à faible dose, ils conviennent pour la construction des navires, pour l'artillerie, pour les blindages, pour

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les grosses pièces de forge; à haute dose, ils sont appropriés aux pièces qui subissent l'action corrodante de l'air humide; à dose moyenne, ils rendent d'utiles services pour les outils, les pièces de machines, la carrosserie, etc.

Il est bien établi maintenant que des quantités presque infinitésimales d'un corps étranger, métal ou métalloïde, peuvent modifier dans une très forte proportion les qualités du cuivre, sa conductibilité, son élasticité, sa résistance à la rupture.

Allié à l'aluminium, le cuivre fournit des bronzes d'aluminium d'une ténacité, d'une ductilité et d'une malléabilité remarquables. L'addition de zinc à ces bronzes donne des laitons d'aluminium, dotés également d'intéressantes propriétés.

Le bronze phosphoreux, dur et tenace, sert à la fabrication d'un grand nombre de pièces mécaniques. Sa dureté et son élasticité augmentent considérablement sous l'action de l'écrouissage. D'heureuses applications en ont été faites récemment aux fils télégraphiques et téléphoniques.

Au lieu du phosphore, on peut unir le silicium au bronze et obtenir des bronzes silicieux propres à certains usages.

Le manganèse, introduit sous forme de ferro-manganèse, donne avec le cuivre des alliages de haute résistance.

Il y a lieu de citer encore le métal *Roma* et le métal *Delta*. De ces deux métaux, le premier est un bronze phospho-manganésé, ductile, malléable à chaud et à froid, inoxydable, ne prenant pas la trempe et dont la résistance arrive à égaler celle de l'acier. Le métal Delta résulte de la combinaison du cuivre avec un alliage de zinc et de fer; d'une belle couleur jaune d'or, il est aussi peu oxydable que le bronze phosphoreux, se travaille aisément à froid et à chaud, résiste à la corrosion dans les eaux sulfureuses et acides; ses propriétés et ses applications ont été signalées par plusieurs jurys de classe.

3. Produits de l'élaboration des métaux usuels. — La *boulonnerie* française se répartit entre quatre régions principales : le Nord et la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Loire, pour la boulonnerie de construction, les rivets, les crampons, chevilles et tire-fonds de chemins de fer; les Ardennes, pour la petite boulonnerie de charronnage et de carrosserie; enfin Paris, pour la boulonnerie fine en fer ou en cuivre. Ces diverses branches de production étaient fort dignement représentées à l'Exposition. L'acier doux soudant s'y est partiellement substitué au fer.

En ce qui concerne la *tréfilerie*, M. Martelet signale une évolution intéressante. Jadis on se servait exclusivement de fers fins et même de fers au bois. Aujourd'hui on emploie l'acier extra-doux en billettes, obtenu soit au convertisseur Thomas, soit sur sole basique au four à réverbère, et dont le prix dépasse à peine celui des fers les plus communs. Le métal déphosphoré a immédiatement réussi pour tous les usages qui n'exigeaient que de la douceur et une résistance modérée; bientôt après, les alliages ferro-métalliques sont venus fournir des aciers élastiques à grande résistance propres aux applications les plus variées. Une mention spéciale est due aux fils bimétalliques à âme d'acier et à enveloppe de cuivre, préparés par des méthodes particulières d'enrobage, de laminage, de tréfilage, et réunissant à la résistance mécanique de l'acier la conductibilité électrique du cuivre.

La *clouterie* se divise en clouterie pour chaussures, clouterie de construction et clouterie forgée pour maréchalerie. Autrefois la Norvège était en possession d'un véritable monopole de fait pour la fabrication des clous blancs forgés en usage dans la ferrure des chevaux. Ce monopole a disparu, depuis que le four Martin donne des aciers extra-doux pouvant rivaliser avec les meilleurs fers de Suède.

De nos jours, le domaine des *câbles métalliques* s'étend sans cesse dans la marine comme dans l'industrie minière. A résistance égale, ils ont un poids et un volume sensiblement inférieurs à ceux des câbles textiles; leur prix de revient est moindre; ils se détériorent moins sous les températures élevées. Leur souplesse ne laisse rien à désirer, pourvu que les poulies d'enroulement présentent un diamètre égal à 100 ou 200 fois celui du câble.

Il n'y a pas plus de quatorze à quinze ans que la France fabrique des *grillages mécaniques*. Cet intervalle de temps a suffi, malgré sa

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

brièveté, pour permettre à des maisons de premier ordre de se constituer. La classe 41 comprenait d'intéressants spécimens de grillages et de *tissus métalliques*.

La fabrication des *aiguilles* est restée une industrie éminemment anglaise. Elle a son siège principal à Redditch, non loin de Sheffield; le travail se fait à la main et comporte trente opérations successives. Cependant l'Allemagne fait maintenant une concurrence sérieuse à l'Angleterre. En 1889, notre importation s'est élevée à 1 million de francs environ, dont près de moitié pour les provenances allemandes et un peu plus du tiers pour les provenances anglaises. L'exportation française a fait de sensibles progrès pendant ces dernières années et approche de 500,000 francs.

M. Martelet cite un certain nombre d'exemples montrant quels progrès a réalisés le *laminage de précision;* les opérations de ce genre s'exécutent avec une rigueur mathématique et sur des pièces de très grandes dimensions; on arrive à une uniformité d'épaisseur et à un poli irréprochables.

Des progrès du même ordre ont été accomplis pour l'*étirage au banc*, qui est une des formes de la tréfilerie, mais une tréfilerie de précision.

La *taillanderie* a toujours sollicité l'attention des métallurgistes, à raison des qualités particulières et de la variété d'aciers qu'exigent les diverses branches de cette fabrication. Il fut un temps où la taillanderie se cantonnait dans certains centres privilégiés au point de vue de la matière première; l'essor pris par la production de l'acier a modifié cette situation. Des différentes spécialités, l'une des plus intéressantes est celle des *faux*, bien que l'emploi des faucheuses mécaniques lui ait fait perdre une partie de son importance. Les faux françaises se font en acier fondu au creuset, à la fois résistant et souple, prenant bien la trempe et revenant au recuit sans s'amollir. Si simple qu'elle soit en apparence, leur préparation est compliquée et demande beaucoup de main-d'œuvre : il faut d'abord couper les barres laminées en barrettes d'un poids correspondant à celui de l'outil, puis étirer ces barrettes au martinet et en faire des ébauches (couteaux) amincies

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

en biseau à l'une de leurs extrémités et repliées à l'autre extrémité, soumettre les ébauches au platinage, qui donne à la faux sa courbure et l'étire transversalement, procéder ensuite au planage, à la trempe, au recuit, au relevage, à l'aiguisage et au finissage.

Comme la fabrication des faux, celle des *limes* nécessite un personnel habile et une matière première de qualité exceptionnelle. Sheffield en a eu longtemps le monopole; actuellement la France ne redoute plus rien de la concurrence étrangère. Les progrès récents les plus essentiels sont l'emploi d'aciers spéciaux imprimant à l'outil plus de dureté et de résistance, la substitution du forgeage mécanique des ébauches au forgeage à la main, la propagation des machines à tailler, enfin d'heureuses modifications dans la trempe et le recuit.

Les *scies* se divisent en de nombreuses familles : grandes scies à débiter les billes de bois en montagne, scies à pierre, scies sans fin pour bois et métaux, scies circulaires, scies à placage, scies à main des menuisiers, scies à amputation, etc. Des modèles remarquables de ces outils figuraient au Champ de Mars : je citerai une scie sans fin de 38 m. 60 de longueur et 0 m. 254 de largeur destinée au sciage du bois, une autre scie sans fin de 22 mètres de longueur pour métaux, une scie circulaire de 2 mètres de diamètre. Certaines scies sans fin pour métaux permettent de débiter facilement des blocs d'acier de 0 m. 40 à 0 m. 50 d'épaisseur.

Une multitude d'outils divers, au sujet desquels le rapporteur de la classe 41 donne toutes les indications voulues, attestait les perfectionnements obtenus dans l'élaboration des métaux usuels.

Quelques exposants de premier ordre figuraient dans la section consacrée à la *serrurerie* proprement dite, à la *quincaillerie* de bâtiment et à la quincaillerie d'ameublement, y compris les appareils de chauffage et la poterie de fonte brute ou émaillée. Leurs produits très remarquables permettaient de constater les progrès continus d'une industrie intéressante à bien des titres. Il n'est que juste de signaler, par exemple, la serrurerie du groupe d'Abbeville ou plutôt de Friville-Escarbotin, celle de Tinchebray (Orne), la quincaillerie et la

IMPRIMERIE NATIONALE

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ferronnerie des Ardennes en fer et en fonte de moulage ordinaire ou malléabilisée.

L'industrie des *ustensiles de ménage* comprend la *tôlerie* mince brute, étamée, galvanisée ou imprimée; la *ferblanterie* et la *zinguerie;* l'*émaillage;* la *chaudronnerie* de cuivre; les articles de ménage divers; la *poterie d'étain.* Rien n'est à signaler en ce qui concerne la tôlerie, qui sert à un très grand nombre d'usages et notamment à la fabrication des boîtes de conserve. Grâce à un outillage perfectionné et à des procédés spéciaux de mise en œuvre, la ferblanterie a pu développer son marché tant à l'extérieur qu'à l'intérieur de notre territoire. Depuis quelques années, les progrès de l'émaillage sont très sensibles; le public y trouve d'ailleurs de sérieux avantages au point de vue de l'entretien des ustensiles, de leur légèreté, de leur aspect, de leur résistance à la chaleur et aux substances acides. La chaudronnerie de cuivre se fait soit à la main et au marteau, soit mécaniquement : on réussit parfaitement l'emboutissage à la presse hydraulique. Jadis la poterie d'étain jouissait d'une grande célébrité et servait de thème à de véritables travaux artistiques; son domaine s'est notablement restreint depuis que les produits céramiques et la verrerie sont devenus accessibles à tous.

Peu d'exposants figuraient dans la section de la *robinetterie* et des *cloches;* je me borne à signaler ces deux branches de production, du reste très connues.

L'*estampage* est très usité pour les accessoires du vêtement et du mobilier. Une industrie spéciale, celle du dé à coudre, mérite une mention particulière, eu égard au mouvement d'affaires considérable qu'elle alimente: le dé ordinaire se fait en tôle aciérée ou non, en laiton, en laiton argenté, par des procédés purement mécaniques; des améliorations de l'outillage ont permis de réduire le prix de la grosse de dés en tôle ordinaire à 2 fr. 40, chiffre faisant ressortir un abaissement de 33 p. 100 pendant la période 1878-1889.

On peut rattacher à l'estampage les *tôles perforées,* c'est-à-dire percées de trous régulièrement disposés. Ces tôles sont employées au classement et au criblage des matières; elles interviennent dans la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

confection d'une foule d'objets de ménage et d'ameublement. Parfois le découpage s'effectue suivant des dessins d'ornement.

Mentionnons en terminant les curieuses exhibitions de l'Inde française, de la Cochinchine, de l'Annam-Tonkin, de la Finlande, et les intéressantes collections envoyées par les musées commerciaux de Lisbonne et de Porto.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE II.

PRODUITS DES EXPLOITATIONS ET DES INDUSTRIES FORESTIÈRES [1].

1. Considérations générales sur les forêts. — « J'ai voulu quel-« ques fois, a dit Bernard Palissy, mettre par estat les arts qui ces-« seroyent alors qu'il n'y auroit plus de bois; mais quand j'eus es-« cript un plus grand nombre, je n'en sceus jamais trouver la fin à « mon escript, et, ayant tout considéré, je trouvay qu'il n'y en avoit « pas un seul qui se peust exercer sans bois. »

Depuis, le métal est venu remplacer le bois pour une foule d'usages; les combustibles minéraux se sont substitués dans une large mesure au combustible végétal pour le chauffage industriel ou domestique. Cependant l'importance économique du bois est loin d'avoir diminué; la consommation s'est au contraire accrue, à mesure que les progrès de la civilisation amenaient avec eux des besoins nouveaux et que les transports devenaient plus faciles. Si, dans les emplois si divers et si nombreux auxquels il convient particulièrement, le bois n'a pu échapper à la loi de transformation qui atteint toutes choses en ce monde, il n'en constitue pas moins encore l'une des matières premières les plus indispensables.

Parmi les différents usages du bois, il en est qui remontent à la plus haute antiquité, presque à la naissance du genre humain : je veux parler des constructions civiles et des constructions navales.

D'abord rudimentaires et massives, faites de troncs simplement dégrossis et à peine liés les uns aux autres, plus tard formées d'arbres équarris et mieux assemblés, les charpentes des édifices exigeaient

[1] Voir *infra*, treizième partie, chapitre II, les indications relatives au matériel et aux procédés des exploitations forestières.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des pièces de très grandes dimensions. Mais, peu à peu, les forêts reculèrent devant l'extension de l'agriculture, les bois de fort équarrissage et de longue portée cessèrent d'être des matériaux communs et devinrent tout à la fois plus rares et plus coûteux; des procédés durent être imaginés pour suppléer à cette pénurie des grosses pièces et pour créer artificiellement, par un habile assemblage de pièces plus petites, des poutres composées offrant la même résistance et remplissant le même objet. Au cours des siècles, les circonstances qui avaient commandé cette ingénieuse économie du bois n'ont fait que s'accentuer davantage; il a fallu, dans beaucoup de cas, éliminer le bois et le remplacer par le fer. La substitution ne s'est pas accomplie sans peine; mais il semble que le génie humain, dont les horizons sont à certains égards si limités, ne connaisse point de bornes dans le domaine des inventions matérielles : les progrès de la métallurgie ont vaincu toutes les difficultés, et, après des débuts laborieux, le fer est sorti triomphant de la lutte. Aujourd'hui le métal fournit, comme en se jouant, les ponts, les portes d'écluse, les solivages, les combles à grande portée, la carcasse des halles, etc.; les beaux palais de l'Exposition universelle de 1889 étaient l'exemple le plus frappant de l'ampleur inouïe que le fer permet de donner aux édifices. Le fer ne se contente pas de remplacer le bois; il se prête à des travaux que jadis les plus téméraires n'eussent jamais abordés.

Une révolution analogue s'est produite dans l'architecture navale. Le fer et l'acier ont pris la place du bois, pour la carcasse des navires à vapeur et même pour celle des grands voiliers; ils se sont emparés du bordage aussi bien que de l'ossature. Bientôt personne ne se souviendra plus de ces anciens vaisseaux à trois ponts dont la majesté étonnait notre jeunesse. Il n'est pas jusqu'à la Chine, pourtant si tenace dans ses habitudes invétérées, qui n'ait suivi le mouvement. La marine contemporaine n'emploie plus guère le bois qu'aux bâtiments de dimensions restreintes, aux mâts, aux espars.

Cependant, à l'heure où la science de nos maîtres de forge, de nos ingénieurs, de nos constructeurs, étendait ainsi le cercle des applications du métal, les chemins de fer et la télégraphie électrique ouvraient

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

au bois un nouveau champ d'action, soit sous forme de traverses servant de support aux rubans de fer qui sillonnent le globe, et de poutrelles ou de madriers pour la construction du matériel roulant, soit sous forme de poteaux soutenant les fils par lesquels la pensée humaine est transmise avec la rapidité de l'éclair, d'une extrémité à l'autre des continents. Ici encore, le métal, enhardi par ses premiers succès, a voulu chasser le bois de ses nouvelles positions. On sait les tentatives innombrables faites tant en France qu'à l'étranger, pour l'établissement de traverses métalliques réunissant la légèreté et l'économie aux conditions requises de stabilité, de résistance et d'élasticité : mais les éléments de succès n'étaient pas les mêmes que pour les grandes constructions civiles ou navales, et, sans garder intacte sa conquête, le bois ne s'est point laissé déloger, tout au moins dans les pays froids ou tempérés. Ainsi que le faisait remarquer M. Jacqmin, directeur de la Compagnie de l'Est, dans son rapport sur l'Exposition de 1878, les chemins de fer occupent le premier rang parmi les consommateurs de bois : chaque kilomètre de voie nouvelle absorbe environ 1,200 traverses ou 120 beaux arbres; chaque kilomètre de voie existante demande annuellement pour son entretien près de 100 traverses, si bien qu'avec le développement actuel du réseau français nous ne devons pas être loin du chiffre de 4 millions de traverses par an ou de 11,000 traverses par jour, ce qui représente le produit de 1,100 arbres de belles dimensions.

Jadis le chauffage industriel dévorait une énorme quantité de bois. Quelques minutes suffisaient à un fourneau de forge pour réduire en cendres un arbre dont la croissance avait exigé une longue série d'années : les forges au bois ont dénudé le sol bien loin autour d'elles et sont mortes d'inanition au milieu du désert qu'elles avaient créé. De nos jours, l'industrie se sert à peu près exclusivement de combustibles minéraux; elle a pris d'ailleurs un tel essor que les forêts, couvrissent-elles la surface de la terre, ne parviendraient plus à satisfaire ses appétits insatiables. Mais il reste le chauffage domestique, qui, tout en partageant ses faveurs entre le bois et la houille, consomme encore beaucoup de combustible végétal.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le boisage des galeries de mine prend aussi chaque année un volume considérable de bois, employé en perches et en étais. A elles seules, les mines de houille exploitées en France doivent enfouir dans les profondeurs du sol environ 700,000 mètres cubes de bois par an, et l'on ne voit pas, du moins pour le moment, quelle autre matière pourrait utilement remplir le même rôle. Il y a là un élément de consommation, dont l'importance croît d'une manière à peu près continue.

Dans nos maisons d'habitation, c'est en bois que se font et que se feront sans doute toujours les parquets, les lambris, les portes, les châssis de fenêtres, les objets d'ameublement dont la fabrication augmente sans cesse avec le confort des sociétés modernes.

C'est aussi le bois qui sert à la fabrication des cuves et des tonneaux, destinés à contenir le vin, la bière, le cidre, les autres boissons, les huiles végétales, etc.

Sans poursuivre cette revue, sans pousser plus avant cette nomenclature déjà trop longue, il est permis d'affirmer, comme je le disais au début, que les produits des forêts figurent aujourd'hui, de même qu'autrefois, parmi les objets de première nécessité. La substitution du métal dans certaines industries et pour certains usages a été plus que compensée par le développement des autres industries, par la création d'industries nouvelles. Il suffit de jeter un regard sur les statistiques du siècle pour reconnaître que la consommation, loin de décroître, a subi une progression rapide. On constate même que les pays les plus riches en ressources minérales, les pays où le travail et l'emploi du métal ont pris le plus d'extension, sont aussi les plus gros consommateurs : en France, l'importation annuelle, qui ne dépassait pas 18 millions de francs vers 1830, a atteint 170 millions pendant la dernière période décennale; cet accroissement, imputable sans doute pour une large part au dépeuplement de nos forêts et au renchérissement des bois, tient cependant surtout à l'augmentation de la demande. Les statisticiens établissent par des calculs vraisemblables que la consommation sur toute la surface du globe a augmenté de moitié depuis quarante ans.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le perfectionnement des moyens de communication a puissamment contribué à ce développement inattendu des usages du bois : grâce aux chemins de fer, aux canaux, aux travaux d'amélioration des fleuves et des rivières navigables, aux navires à vapeur, les négociants ont pu transporter par terre et par eau, à des milliers de kilomètres de distance, un produit qui, il y a un siècle à peine, ne pouvait guère s'utiliser que sur place.

En même temps, la vapeur était appliquée à l'abatage en forêt; des voies ferrées ou des câbles aériens permettaient d'évacuer les bois de chauffage et de construction coupés dans des régions jusqu'alors inaccessibles; les scieries mécaniques remplaçaient les scies à bras pour le débitage de ces bois; les grossières méthodes de fabrication à la main, jadis en usage dans les industries des bois ouvrés, des bois de fente, de la tonnellerie, faisaient place aux procédés à la machine, plus rapides, plus économiques, mieux appropriés à nos exigences modernes; une classification rationnelle des essences, les affectant à des usages déterminés en rapport avec leurs qualités spéciales, donnait le moyen d'en tirer un meilleur parti et d'en répandre l'emploi.

Tout concourait ainsi à provoquer l'épuisement des provisions de bois accumulées sur le globe par une végétation séculaire.

Le danger était d'autant plus redoutable que, même chez les peuples les plus avancés en civilisation, les forêts ont été longtemps considérées comme des vestiges de l'état barbare, comme une richesse naturelle dont on pouvait user sans ménagement, sans souci de l'avenir, sans mesure de prévoyance, sans aucune précaution de nature à la conserver ou plutôt à la reproduire.

Maintenant encore, il est des régions où le gaspillage dépasse tout ce que l'on peut imaginer, où, suivant une expression bien caractéristique, « on abat deux pins pour faire une paire de sabots ». Il en est où les bergers et les cultivateurs allument des incendies, afin de procurer aux troupeaux une herbe plus nourrissante et d'obtenir des cendres pour l'amendement des terres.

La pénurie de bois a atteint toutes les vieilles civilisations. A étu-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dier l'inégale répartition des forêts sur l'écorce terrestre, il semble que leur rareté ou leur abondance puisse mesurer l'âge des peuples : le sol de l'Europe méridionale est presque entièrement dénudé, tandis que le continent américain a gardé de précieuses réserves, dont les produits alimentent jusqu'à l'ancien monde.

Ce n'est point à dire que le défrichement ait été partout une calamité publique. Il faut avant tout que l'homme se nourrisse, et les forêts devaient nécessairement disparaître en partie devant l'accroissement de la population, pour faire place à la culture. D'ailleurs les terres de bonne qualité ont acquis par cette transformation un rendement et une plus-value considérables.

Mais, par contre, la destruction des forêts sur les terrains de mauvaise qualité, et particulièrement sur les flancs des montagnes, a été une coupable folie.

Leur utilité ne consiste pas seulement à fournir des bois de chauffage et d'industrie. Elles exercent une influence appréciable sur le climat, modèrent la température, maintiennent les terres sur les pentes, défendent le sol contre les érosions, empêchent la formation des torrents ou les éteignent, régularisent le cours des eaux, assurent l'alimentation continue des sources, protègent contre les inondations, fixent les dunes, s'opposent à l'invasion des sables le long du littoral, abritent contre les vents, améliorent souvent les conditions de salubrité et d'hygiène, rendent des services pour la défense du territoire. Il n'est besoin d'être ni grand clerc, ni profond observateur, pour se rendre compte des modifications néfastes que la destruction des forêts peut apporter dans la situation climatérique d'une région comme dans le régime de ses eaux, des perturbations qu'elle jette dans l'équilibre des terres à forte inclinaison, des facilités qu'elle offre à la formation des marais sur les terrains sans pente, où les eaux séjournent et s'accumulent quand elles ne sont plus absorbées par la végétation et pompées en quelque sorte par les racines des arbres.

On a peine à comprendre aujourd'hui l'indifférence regrettable avec laquelle les gouvernements ont si longtemps assisté au déboise-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ment du sol, à la légèreté dont ils ont fait preuve en laissant compromettre ainsi les intérêts les plus sacrés, en puisant eux-mêmes à pleines mains dans un trésor si difficile à reconstituer, en vivant au jour le jour comme des enfants prodigues, en jetant par les fenêtres l'héritage que leur avaient légué les anciennes générations.

Un matin, le réveil a été cruel. Le mal atteignait de telles proportions qu'il devenait impossible de fermer les yeux à l'évidence. Après avoir bien chanté tout l'été, la cigale se trouvait fort au dépourvu.

On a enfin compris, du moins dans certains pays de l'Europe, l'absolue nécessité de prévenir la ruine complète des forêts, de mettre un terme aux abus, de soumettre la coupe des bois à une réglementation prévoyante, d'appliquer à l'exploitation des principes de sévère économie, d'assurer la reproduction par des règles rationnelles de culture. Les pouvoirs publics se sont préoccupés tout à la fois de la conservation des forêts encore existantes et du reboisement; en même temps qu'ils empêchaient les défrichements inconsidérés des particuliers, ils amélioraient l'aménagement des forêts de l'État, ainsi que des forêts appartenant aux établissements publics, et cherchaient dans des plantations nouvelles un remède à la pénurie croissante des bois.

C'est en Allemagne que la science a fait ses premiers progrès et qu'ont été inaugurés les principes actuellement suivis par toutes les nations soucieuses de leur avenir forestier. La France est entrée largement dans la même voie. D'autres nations ont suivi; toutefois on pourrait citer encore en Europe tels pays qui semblent devoir mourir dans l'impénitence finale et qui, par une fidélité inconcevable aux errements du passé, continuent à réaliser sans méthode et sans prudence les capitaux ligneux accumulés depuis des siècles.

Hors d'Europe, le déboisement se poursuit, sur bien des points, sans souci aucun de l'avenir. Les ressources de l'Amérique du Nord sont en telle voie de réalisation qu'avant peu d'années les États-Unis, dont la population et les besoins augmentent si rapidement, importeront peut-être plus de bois qu'ils n'en vendront à l'étranger. L'Australie achète déjà des bois en Suède.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Au total, si de réels progrès ont été accomplis, la situation forestière, envisagée dans son ensemble, est moins que satisfaisante.

2. Les forêts et les bois en France et dans quelques pays étrangers. — Parmi les mesures protectrices de nos forêts, il convient de citer avant tout celles qu'édicte le Code forestier. La loi divise les forêts en trois catégories : 1° forêts appartenant à l'État, ou forêts domaniales; 2° forêts des communes et des établissements publics; 3° forêts des particuliers. Les forêts des deux premières catégories sont soumises au régime forestier, c'est-à-dire à l'action administrative directe du service des forêts. Pour les bois particuliers, l'État n'a que des droits de simple surveillance, dont le plus essentiel concerne le défrichement : aucun particulier ne peut arracher ou défricher ses bois sans une déclaration préalable, et l'Administration a la faculté de former opposition au défrichement dans l'intérêt : 1° du maintien des terres sur les montagnes ou sur les pentes; 2° de la défense du sol contre les érosions et les envahissements des fleuves, rivières ou torrents; 3° de l'existence des sources et cours d'eau; 4° de la protection des dunes et des côtes contre les érosions de la mer et l'envahissement des sables; 5° de la défense du territoire dans la zone frontière; 6° de la salubrité publique.

Au premier rang des opérations ayant pour objet ou pour effet l'augmentation de notre domaine forestier se place, sinon par son importance, du moins par sa date, la fixation des dunes au moyen des semis de pins maritimes, notamment entre les embouchures de la Loire et de la Gironde. Ce travail, dont l'initiative est due à l'ingénieur Brémontier, a été longtemps confié aux soins du service des ponts et chaussées; plus tard, il est passé entre les mains du service des forêts. Aux termes du décret du 14 décembre 1810, la plantation était directement ordonnée par le Ministre, pour les dunes appartenant à l'État; il fallait un décret en forme de règlement d'administration publique pour les dunes appartenant aux communes et aux particuliers : faute par les propriétaires d'exécuter l'opération, le service y pourvoyait d'office en

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

retirant la jouissance des dunes jusqu'à complet remboursement des avances du Trésor avec leurs intérêts.

Parmi les entreprises de ce siècle, l'une des plus importantes est celle qui a été commencée en Sologne dès 1810. Elle a abouti au reboisement de plus de 100,000 hectares sur les 500,000 qui composent cette région, autrefois si pauvre et si malsaine.

L'hiver rigoureux de 1879-1880 a malheureusement détruit les richesses forestières ainsi créées à grands frais. Mais la reconstitution des pineraies de la Sologne, activement poussée depuis 1880, peut être considérée comme touchant à sa fin.

Une autre opération, présentant un intérêt capital, a été l'assainissement et la mise en culture des landes de Gascogne, conformément à la loi du 19 juin 1857. Jadis il existait, entre la mer et les vallées de la Garonne et de l'Adour, un immense espace de 800,000 hectares, inculte, inhabité, à peine semé de quelques chaumières et de quelques bouquets de pins. Ce vaste désert, ce véritable steppe était pourtant situé aux portes d'une des plus grandes villes, d'un des plus grands ports de France, et sous un des climats de l'Europe les plus favorables à la végétation. Depuis longtemps, des essais nombreux avaient été faits pour la mise en culture des landes de Gascogne; mais ces tentatives mal dirigées s'étaient toujours terminées par un insuccès, lorsqu'en 1837 M. Chambrelent, alors élève-ingénieur des ponts et chaussées dans le département de la Gironde, aujourd'hui inspecteur général en retraite et membre de l'Académie des sciences, entreprit les longues et patientes études qui devaient aboutir à la solution la plus complète et la plus heureuse du problème. Le jeune ingénieur commença par se rendre un compte exact de la configuration et de la constitution du sol : il reconnut, d'une part, que les Landes formaient un plateau à peu près horizontal, mais comportant néanmoins des pentes très régulières; d'autre part, que le terrain était partout composé d'une couche de sable fin siliceux de 0 m. 40 à 0 m. 50 d'épaisseur, reposant sur un tuf ou alios, sable

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

agglutiné par des sucs végétaux. Faute d'écoulement superficiel ou intérieur, les eaux pluviales s'accumulaient dans la couche supérieure de sable, y déterminaient une inondation permanente pendant l'hiver et la frappaient de stérilité. M. Chambrelent en conclut que des travaux d'assainissement simples et peu coûteux suffiraient pour assurer l'évacuation des eaux, pour faire cesser ainsi la cause du mal et pour transformer les Landes en une région éminemment propre à la végétation du chêne et surtout du pin. Il imagina en outre de pourvoir à l'alimentation en eau potable des habitants et des animaux, au moyen de puits filtrants qui puisaient l'eau dans le sous-sol, à une profondeur assez grande pour qu'elle se fût débarrassée des matières azotées.

M. Chambrelent appliqua tout d'abord ses idées sur un champ d'expériences qu'il avait acquis à cet effet; il réussit pleinement et trouva des imitateurs : en 1855, la surface ensemencée atteignait déjà 20,500 hectares. Le jury de l'Exposition universelle internationale de 1855 signala tout particulièrement les résultats obtenus, et deux ans après intervenait la loi du 19 juin 1857, prescrivant aux communes des départements des Landes et de la Gironde d'assainir et d'ensemencer ou de planter en bois les terrains communaux alors soumis au parcours du bétail; en cas d'impossibilité ou de refus des communes de procéder à l'exécution de ces travaux, il devait y être pourvu aux frais de l'État, qui se rembourserait de ses avances, en principal et intérêts, sur le produit des coupes et des exploitations. En outre, la loi autorisait l'ouverture de routes agricoles payées par le Trésor.

Tout marcha à merveille. Dès 1865, l'assainissement des landes communales était terminé sur la superficie totale de 300,000 hectares, moyennant une dépense n'excédant guère 5 francs par hectare; les particuliers avaient suivi l'impulsion, et, en 1887, M. Chambrelent pouvait évaluer à 225 millions la richesse forestière du pays. La végétation forestière a pris dans les Landes une vigueur extraordinaire, que les visiteurs de l'Exposition de 1889 constataient avec admiration sur des spécimens de pins âgés de moins de quarante ans et présen-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tant néanmoins une hauteur de 20 mètres et une circonférence de 1 m. 40.

Depuis plusieurs années déjà, les bois des Landes se sont répandus non seulement en France, mais en Angleterre, en Écosse, en Espagne, en Afrique, en Amérique; ils fournissent des poteaux télégraphiques, des poteaux de mines, des traverses de chemins de fer, des échalas, des matériaux pour futailles, des pavés, du combustible de boulange; les forêts landaises donnent aussi de la pâte à papier et une certaine quantité de résine. Si à ces résultats on ajoute ceux qui ont été obtenus au point de vue de la salubrité publique, du développement des populations, de leur progrès moral et intellectuel, l'œuvre forestière accomplie dans la région sud-ouest de la France apparaît comme une œuvre nationale de premier ordre.

Après la loi de 1857, celle du 28 juillet 1860 sur le reboisement des montagnes. Dans un livre devenu classique, M. Surell avait mis en évidence les conséquences désastreuses du déboisement sur les terrains à forte pente; il avait établi péremptoirement que la destruction des forêts livrait le sol aux torrents, également funestes à la montagne bientôt dépouillée de sa terre végétale et à la plaine envahie par les cônes de déjection. L'ouvrage de M. Surell, publié vers 1840, eut un grand retentissement; le Gouvernement s'émut de la situation et présenta en 1845 un projet de loi pour y remédier; on évaluait alors à 1,100,000 hectares l'étendue des terrains susceptibles de reboisement. Ce projet parut trop radical; puis vinrent les événements de 1848, et il ne fallut rien moins que les effroyables inondations de 1856 pour provoquer la loi du 28 juillet 1860.

Cette loi conférait à l'État le droit de prendre d'office les mesures nécessaires à la restauration des terrains montagneux dont la solidité se trouvait compromise. Si les communes, les établissements publics ou les particuliers se refusaient à exécuter les travaux avec ou sans le concours du Gouvernement, ces travaux pouvaient être déclarés obligatoires et effectués par l'État. Les moyens de coercition différaient, selon qu'il s'agissait de propriétés communales ou de propriétés par-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ticulières : au regard des particuliers, l'Administration était armée de l'expropriation pour cause d'utilité publique ; au regard des communes, elle ne pouvait exproprier, mais avait le droit d'occuper les terrains, d'en interdire la jouissance, d'y effectuer les travaux en vertu d'un décret rendu en Conseil d'État et dans les limites d'un périmètre fixé par ce décret. Une fois l'opération menée à terme, la commune avait la faculté de reprendre son bien, en remboursant à l'État le montant de ses avances ou en lui abandonnant la moitié de la propriété.

Les populations pastorales opposèrent une très vive résistance à l'application de la loi du 28 juillet 1860 ; cette résistance se justifiait d'ailleurs par les dispositions malheureuses relatives à l'occupation des propriétés communales, aux conditions que les communes devaient accepter pour rentrer en possession, au mode de liquidation de leurs dettes, etc. Dans l'espoir de mettre fin aux insurmontables difficultés contre lesquelles se heurtaient les agents de l'Administration des forêts, le législateur corrigea sur certains points la loi de 1860 par une autre loi du 8 juin 1864, dont la disposition essentielle consistait dans la faculté accordée aux communes de demander la substitution du gazonnement au reboisement. Cette fois encore, les espérances furent déçues : de 1860 à 1870, la surface reboisée ou gazonnée n'atteignit pas 38,000 hectares; à marcher de ce pas, l'achèvement de l'œuvre eût exigé près de trois cents ans !

Il était impossible de méconnaître l'impuissance absolue des lois de 1860 et de 1864. La question fut reprise en 1874 devant l'Assemblée nationale, et, après huit années d'études et de discussions, les Chambres votèrent enfin la loi du 4 avril 1882, dont l'exécution se poursuit actuellement. Voici quelle est l'économie générale de cette loi, destinée à l'extinction des torrents, à la régularisation du régime des cours d'eau, à la mise en valeur des terrains instables et improductifs.

La restauration et la conservation des terrains en montagne sont assurées, soit au moyen de travaux exécutés par l'État, ou par les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

propriétaires avec subvention de l'État, soit au moyen de mesures de protection. Quand la dégradation du sol, et des dangers nés et actuels rendent nécessaire la restauration des terrains, l'utilité publique de l'opération est déclarée, après enquête, par une loi fixant le périmètre sur lequel les travaux doivent s'étendre; l'État acquiert les terrains à l'amiable ou par voie d'expropriation et exécute les travaux à ses frais. Toutefois les communes, les établissements publics et les particuliers peuvent conserver leur bien, s'ils s'engagent à effectuer eux-mêmes l'opération et à assurer l'entretien ultérieur; la loi autorise dans ce but la formation d'associations syndicales. Les mesures de conservation sont : 1° la mise en défens, qui est prononcée par décret en Conseil d'État et qui donne lieu à l'allocation d'une indemnité; 2° la réglementation des pâturages communaux, pour empêcher les abus de la dépaissance. Les dispositions de détail ont été déterminées par un règlement d'administration publique du 11 juillet 1882.

Plus de 3 millions d'hectares de terrains situés en haute montagne, dans les Alpes, le plateau central, les Cévennes et les Pyrénées, ont été reconnus pour la fixation des périmètres obligatoires de restauration, conformément à la loi du 4 avril 1882. Il résulte de ces études que les travaux de restauration devront embrasser au maximum 300,000 hectares, à la conservation desquels l'intérêt public est immédiatement engagé, savoir :

70,000 hectares à acheter aux particuliers;

140,000 hectares à acheter aux communes;

90,000 hectares appartenant à l'État, dont 70,000 conservés sur les 140,000 hectares qui constituaient les anciens périmètres décrétés par application des lois antérieures.

Sur les 70,000 hectares conservés des anciens périmètres, 60,000 environ étaient reboisés en 1889; pour les 10,000 hectares formant le complément, l'Administration attendait que les opérations préliminaires de consolidation des versants instables et d'amélioration du sol permissent d'entreprendre l'œuvre du boisement. Aux 60,000 hectares reboisés par l'État, il y avait lieu d'ajouter 85,000 hectares

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

boisés facultativement par les communes ou les particuliers, avec des subventions en nature ou en argent : ainsi les ressources forestières de la France s'étaient accrues de 145,000 hectares.

On conçoit qu'en présence de tels résultats, le rapporteur du jury de la classe 42 ait pu constater avec un légitime orgueil les progrès réalisés par la France et considérer notre pays comme soustrait au danger qui le menaçait.

Cependant il faut se garder d'un excès d'enthousiasme. Quelques chiffres vont le prouver.

La superficie de nos forêts est de 9,473,975 hectares, correspondant à 17 hect. 80 par 100 hectares de superficie territoriale et à 25 ares par habitant. D'après des statistiques, dont la date oscille entre 1880 et 1886, la superficie boisée et son rapport à la surface totale seraient les suivants dans les principaux pays étrangers :

PAYS.	SURFACE BOISÉE.	RAPPORT À LA SURFACE TOTALE.
	hectares.	p. 100.
Russie	212,000,000	40
Suède	16,774,000	38
Autriche	9,677,500	32
Hongrie	9,274,200	29
Allemagne	13,900,612	26
Norvège	7,660,000	24
Suisse	771,400	19
Espagne	8,484,000	17
Roumanie	2,221,000	17
Belgique	489,423	17
Italie	4,200,000	14
Grèce	610,000	12
Portugal	710,000	8
Pays-Bas	225,400	7
Danemark	176,000	5
Grande-Bretagne et Irlande	1,129,500	4

Ce tableau montre que nous sommes sensiblement au-dessous de la moyenne de l'Europe et que nous occupons seulement le huitième rang. Nos départements les plus boisés sont : les Landes (47 p. 100

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de la superficie totale), le Var (42 p. 100), les Vosges (35 p. 100); les moins boisés sont la Vendée (4 p. 100), la Manche (3 p. 100) et la Seine (2 p. 100).

Sur les 9,473,975 hectares de forêts, 1,075,624 (11.35 p. 100) appartiennent à l'État, 1,908,115 aux communes et aux établissements publics, 6,490,236 aux particuliers.

On distingue deux régimes principaux d'exploitation : celui des taillis, dont la reproduction est obtenue principalement par les rejets de souches, et celui de la futaie, dont la régénération est cherchée par la semence et généralement par les semis naturels. A ce point de vue, les forêts se répartissent comme il suit :

RÉGIMES D'EXPLOITATION.	FORÊTS		
	DOMANIALES.	COMMUNALES et D'ÉTABLISSEMENTS publics.	PARTICULIÈRES.
	hectares.	hectares.	hectares.
Taillis	263,055	1,274,621	4,864,820
Futaie	415,708	597,240	1,625,416
Taillis en conversion de futaie	184,602	13,357	//
Surface sans régime déterminé	212,259	22,897	//

D'après la statistique agricole de la France en 1882, la production annuelle des forêts françaises serait de 25,070,140 mètres cubes, savoir :

Forêts domaniales	2,321,937 m. c.
Forêts communales et d'établissements publics	5,155,830
Forêts particulières	17,592,373

Notre consommation s'élevant à 31,488,000 mètres cubes[1], il y a un déficit de production de 6,400,000 mètres cubes environ, qui ne peut être comblé que par l'importation, par des plantations de forêts nouvelles ou par un changement de régime propre à augmenter le rendement des forêts existantes.

[1] 4/5 environ en bois de chauffage et 1/5 en bois d'œuvre.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'une des sections de la belle exposition du Service des forêts était consacrée à l'exploitation des bois et présentait, pour toutes les essences forestières de France et d'Algérie, des monographies permettant de suivre chacune de ces essences dans son développement, depuis la graine jusqu'aux emplois industriels. Elle comprenait : 1° au point de vue scientifique, des photographies montrant le port de l'arbre à l'état isolé ou en massif, ainsi que ses divers aspects d'éte et d'hiver; des échantillons de graines, de bourgeons, de fleurs, de fruits; des sections microscopiques transversales et longitudinales; des agrandissements photographiques de ces sections; des diagrammes relatifs aux différentes phases de végétation; une série d'échantillons de bois sain; un ensemble d'échantillons représentant les difformités, les maladies, les parasites, les insectes ravageurs; 2° au point de vue industriel, des rondelles figurant les divers modes de débit; des spécimens de produits fabriqués, des produits chimiques et pharmaceutiques dérivés du bois. Tout visiteur attentif en emportait cette impression, que nos essences indigènes offrent la plus grande diversité, tant par leurs qualités que par leurs usages, et constituent une richesse incomparable. Placée sous la hauteur moyenne de l'Europe, s'ouvrant sur les mers par de larges bassins, hérissée de hautes montagnes, la France possède des climats variés; sa flore forestière s'échelonne entre la végétation de l'Espagne ou de la Kabylie et celle de la Sibérie; aux Maures ou à l'Esterel, on trouve le chêne-liège, et à quelques lieues plus loin, dans les Hautes-Alpes, le mélèze ou le pin cembro. L'épicéa, le sapin, le pin sylvestre, le chêne, le hêtre, le charme, etc., sont largement représentés dans nos massifs. Il n'est pas un seul objet qui ne puisse se fabriquer avec nos bois indigènes, et l'on ne peut que regretter l'engouement répandu à l'égard des bois étrangers. La France ne saurait trop redoubler d'efforts pour mettre sa production au niveau de sa consommation.

L'*Angleterre* a conservé peu de forêts dans son domaine européen, où la moindre parcelle de sol cultivable est utilisée pour l'alimentation des habitants. Mais ce qui en reste a été admirablement aménagé,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et le reboisement des terres impropres à toute autre culture se poursuit très activement. Le véritable domaine forestier de la métropole existe dans ses colonies; grâce à la puissance de sa marine marchande, elle y va chercher sans peine les bois exotiques de qualité supérieure, nécessaires à ses constructions navales et terrestres. Néanmoins les approvisionnements qu'elle en tire ne peuvent suffire à ses besoins, et ce sont la Suède, la Norvège, la Russie, la France, qui y pourvoient pour la plus large part.

Dès 1867, la consommation annuelle de la Grande-Bretagne atteignait 300 millions de francs; elle était en partie assurée, à cette époque, par les importations du *Canada*, dont les forêts contiennent toutes les essences principales connues en Europe et procurent à cette colonie un revenu annuel de 120 millions. Actuellement les bois du Canada sont de plus en plus achetés par les États-Unis.

L'Exposition de 1855 nous a révélé les mérites des bois de l'*Australie*, tant pour les constructions civiles que pour la marine. Parmi ces bois figure l'eucalyptus, originaire de la Tasmanie et de la province de Victoria, que nous avons depuis naturalisé en Corse, en Algérie et dans le midi de la France : on sait les merveilleuses propriétés de l'eucalyptus, la densité, l'élasticité et la résistance qu'il acquiert à l'âge adulte, le rôle dont il est susceptible pour l'assainissement des régions insalubres, son efficacité contre la malaria, la richesse de son écorce, de ses feuilles et de ses ramilles en produits accessoires.

Aux *Indes*, l'Angleterre a trouvé moins de ressources; les forêts y ont été longtemps malmenées, et il semble que, jusqu'à ces dernières années, on y ait vu plutôt un obstacle au développement de l'agriculture qu'une source de revenus et de prospérité. Soit qu'il ne se rendît pas compte des conséquences fâcheuses devant résulter du déboisement, soit qu'il ne soupçonnât pas l'étendue et l'importance des richesses forestières du pays, le Gouvernement britannique n'avait pris aucune mesure conservatoire; déjà, en 1860, les principaux centres d'exploitation étaient ravagés, la pénurie de bois commençait à se faire sentir et le climat éprouvait de fâcheuses modifications. La

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mère patrie s'est enfin décidée à porter remède au mal; un code forestier a été promulgué en 1865; les agents locaux, dont la plupart avaient reçu leur éducation technique en France, ont entrepris avec succès des essais de culture et d'acclimatation, et repeuplé les forêts d'eucalyptus, d'acacias, de bois de teck; c'est sur cette dernière et précieuse essence que se sont surtout concentrés leurs efforts.

De tous les pays d'Europe, la *Russie* est celui qui possède la plus grande étendue de forêts : la superficie boisée y dépasse les deux tiers de la surface forestière totale de notre continent. Mais ses 212 millions d'hectares de forêts, très négligés jusqu'en 1860, ne sont point encore exploités aujourd'hui avec toute la prudence désirable. Leur répartition sur le territoire de l'empire est d'ailleurs tellement inégale que le bois de chauffage, vendu à vil prix en certains points, atteint au contraire un prix extrêmement élevé dans d'autres régions, et que les paysans de certaines provinces méridionales emploient comme combustible des excréments de bestiaux desséchés. Cette situation tend à se modifier par suite du développement des voies de transport. Le commerce d'exportation du pin, du sapin, de l'épicéa et du chêne a pris une grande importance.

Après la Russie, c'est la *péninsule scandinave* qui offre le plus de terrains boisés, relativement à sa surface totale; des forêts de pins et de sapins couvrent le tiers environ de cette péninsule et, sur toute la côte de l'Atlantique, le bois forme avec la pêche le principal, sinon le seul revenu des habitants. La Suède et la Norvège fournissent à l'Europe occidentale, notamment à l'Angleterre et à la France, une quantité considérable de madriers, de planches, de poutres, ainsi que des mâts et des espars; elles ont su imprimer un essor extraordinaire au travail mécanique des bois ouvrés et même à la fabrication des maisons démontables; les produits de ces deux industries sont exportés jusqu'en Australie. Toutefois, par suite de l'accroissement incessant de la consommation, le vide commence à se faire dans les forêts scandinaves : dès 1865, le déboisement dû aux vices de l'exploitation attirait l'attention du Gouvernement, qui édicta des dispositions excep-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tionnelles pour y remédier. Malgré ces mesures, les doutes les plus sérieux s'élèvent sur la durée des richesses forestières du pays, qui jadis semblaient inépuisables, mais où l'on a puisé sans compter et sans se préoccuper suffisamment de leur régénération. La rigueur du climat ne permet d'ailleurs de reconstituer les forêts qu'avec une extrême lenteur et dans un délai qui n'est pas évalué à moins de cent cinquante ou deux cents ans : les propriétaires ne se soucient guère de semer ou de replanter pour une échéance si lointaine.

L'exportation des bois atteint un chiffre très élevé dans l'*Autriche-Hongrie*, où les produits forestiers dépassent de beaucoup les besoins locaux. Cette exportation, qui représentait en 1867 une valeur de 70 millions de francs pour une surface boisée de 18 millions d'hectares, avait presque doublé en 1877 : aujourd'hui encore, elle oscille autour de 140 millions de francs. La variété des essences et des qualités fait rechercher les bois d'Autriche-Hongrie dans le centre de l'Europe, pour les constructions et le chauffage; un système complet de voies fluviales naturelles aboutissant à l'Adriatique, à la Baltique, à la mer du Nord et à la mer Noire, ainsi qu'un réseau étendu de chemins de fer, permettent de les transporter économiquement et de les livrer à bas prix. Un trop grand nombre de forêts autrichiennes et hongroises subissent une destruction sans relâche; mais beaucoup d'autres sont très régulièrement aménagées et méthodiquement exploitées, avec les précautions voulues pour la reproduction et l'amélioration des diverses essences.

On peut citer comme parfaitement ordonnée l'exploitation des forêts en *Allemagne*, où elles occupent environ 14 millions d'hectares. Au reste, les forestiers allemands jouissent d'une réputation universelle : la sylviculture et les sciences qui s'y rattachent sont dans ce pays l'objet d'incessants progrès, et c'est dans les écoles allemandes, en même temps que dans les écoles françaises, que les Anglais, les Russes et les Espagnols viennent puiser leur instruction technique.

L'*Italie* et l'*Espagne* luttent de leur mieux contre les funestes conséquences du déboisement. Encore très importantes, les ressources forestières de l'Italie vont en décroissant; mais les efforts du Gouver-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nement pour créer une bonne exploitation ne peuvent rester longtemps stériles; les chênes de Toscane et de Sardaigne sont toujours fort appréciés, surtout en Angleterre, pour la construction des navires. Quant à l'Espagne, autrefois citée comme un exemple de mauvaise administration, sa situation devient meilleure; elle saura bientôt réaliser toutes les mesures que lui commandent les nécessités de son climat et de ses finances.

Hors d'Europe, les *États-Unis* et le *Canada*, dont j'ai déjà parlé à propos de l'Angleterre, occupent le premier rang parmi les pays producteurs et consommateurs de bois. Malgré le gaspillage inouï auquel elles ont été livrées, les forêts des États-Unis renferment d'immenses ressources; l'exploitation en est d'ailleurs facilitée par le développement continu des voies de communication. Outre les essences qui leur sont communes avec le Canada, les États-Unis possèdent une espèce particulière de pin, le *pitch-pine*, très résistant, ne présentant point de nœuds, rebelle à l'action des vers, inattaquable par la pourriture; ils en font largement usage dans tous les ports de l'Atlantique, pour la construction de leurs navires; c'est aussi, parmi les bois à ouvrer, celui qu'ils exportent le plus dans l'Amérique du Sud et en Europe, où l'Angleterre l'emploie depuis longtemps pour la charpente de ses édifices comme pour sa marine. La France n'importe guère le pitch-pine que depuis vingt ans; elle en a rapidement multiplié les applications et s'en sert spécialement aujourd'hui pour la fabrication des meubles, des voitures de chemins de fer, etc.

Le commerce attache naturellement un grand prix à se procurer des bois capables de résister aux intempéries des saisons, aux attaques du ver et à celles du taret. A cet égard, les arbres des pays tropicaux présentent des qualités exceptionnelles. Sous l'influence du climat des tropiques, les végétaux acquièrent des dimensions peu communes; le bois prend une compacité, une densité et une force de résistance tout à fait remarquables; après la coupe des arbres, la chaleur favorise et active l'exsiccation de la sève, éloignant ainsi les dangers de vermoulure. Aussi y a-t-il longtemps que l'on apprécie par exemple

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les beaux bois des *Indes néerlandaises*, le bois de fer, le teck de Java, le *Naina vera*, inattaquable par le taret, excellent pour tous les travaux à la mer; les arbres du Sénégal et de Casamance, doués de précieuses qualités pour la construction des navires; les bois de Cochinchine et notamment l'*Hopea*, qui vaut le teck pour la dureté et la flexibilité.

Les expositions universelles qui se sont succédé depuis 1851 ont fourni aux *pays du Soleil* l'occasion de nous révéler leurs richesses sylvestres, de faire connaître au vieux monde les immenses réserves où il pouvait encore puiser.

En 1867, l'attention se fixa spécialement sur les bois de la *Guyane*, qui portaient avec eux l'évidence de leur supériorité; des chiffres précis de résistance et de densité, ainsi que des renseignements détaillés sur chaque essence, attestaient d'ailleurs les propriétés et la haute valeur de ces bois.

A côté de la Guyane, le *Brésil* s'est également révélé avec éclat à cette exposition, où il plaçait sous les yeux des visiteurs une magnifique collection de 250 espèces de bois. Des échantillons de toutes formes et des indications minutieuses, d'un caractère à la fois scientifique et industriel, mettaient bien en lumière toutes les applications possibles des différentes essences. Les ressources forestières du Brésil, répandues en masses immenses dans cette contrée qui occupe les trois septièmes de l'Amérique méridionale, comportent une extrême variété et se modifient profondément aux diverses latitudes; les architectes, les ingénieurs de la marine, les ébénistes y trouvent d'admirables matériaux; on en tire aussi des matières tinctoriales ou médicinales justement réputées. C'est surtout dans le bassin des Amazones, dans cette vallée célèbre destinée d'après Humboldt « à devenir un jour le « centre de l'activité humaine », que la flore arrive à son plus haut degré d'épanouissement; la nature y revêt ses formes les plus merveilleuses et les plus exubérantes; les bois y acquièrent leur maximum de densité, de résistance, de coloration et de beauté; un système complet de voies fluviales naturelles semble avoir été créé tout exprès pour en faciliter le transport.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Des richesses, sinon égales, du moins comparables à celles du Brésil, existaient sur d'autres points de l'*Amérique centrale* et de l'*Amérique du Sud*. Mais elles n'avaient point paru au Palais de l'Industrie en 1855, ni au Champ de Mars en 1867, ou s'y étaient montrées avec moins d'art et d'habileté.

D'ailleurs si, dès cette époque, aucun doute ne pouvait subsister sur l'abondance, la diversité et le mérite des essences accumulées par la nature dans la partie méridionale du nouveau monde, de même que dans certaines régions tropicales de l'Asie et de l'Océanie, les difficultés d'exploitation et l'insuffisance des moyens de transport restreignaient forcément l'exportation de ces essences et ne leur permettaient pas de lutter sur les marchés européens avec les produits indigènes. Nous n'allions guère chercher par delà les mers que les bois à grain fin, susceptibles d'un beau poli, riches en colorations vives et variées, qui conviennent si bien à l'ébénisterie et à la marqueterie, et dont les zones équinoxiales ont le monopole; la grande valeur de ces bois et les dimensions réduites sous lesquelles ils pouvaient être importés en Europe permettaient d'aller les prendre, surtout dans les pays dotés de ports et de rivières aboutissant à l'Atlantique. Pour citer seulement quelques exemples, les Antilles et le Mexique nous envoyaient l'acajou; le Brésil, les bois de rose et de palissandre; le Vénézuela, les bois connus sous le nom de *bois de la Guyane* ou *des îles;* l'archipel Malais et la Cochinchine, l'ébène et le santal. Mais ce mouvement d'exportation vers l'ancien monde demeurait en somme fort peu important; les produits les plus précieux, les plus appropriés à la construction ou à l'ébénisterie, se consommaient sur place pour le chauffage domestique.

Aujourd'hui la situation n'est plus la même. Les Républiques de l'Amérique centrale et de l'Amérique méridionale sont apparues en 1889 complètement transformées; malgré des crises passagères, elles prennent un essor inouï; leurs progrès économiques s'étalaient avec un légitime orgueil dans les superbes expositions du Champ de Mars. Des chemins de fer commencent à sillonner le Mexique, le Brésil, la République Argentine, poussent un peu partout leurs

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

branches dans ces vastes régions, abordent les forêts vierges, les mettent en communication avec le littoral. En même temps que les relations maritimes entre l'ancien et le nouveau monde se sont améliorées et multipliées, le prix du fret a sensiblement baissé. Les essences sont mieux connues, mieux appréciées, mieux exploitées; des études sérieuses ont été faites sur leurs propriétés physiques et industrielles. Il suffisait d'un examen superficiel des admirables collections exposées en 1889 pour se rendre compte de la véritable rénovation accomplie à cet égard depuis quelques années. Certaines personnes se sont même demandé si les productions forestières du centre et du sud de l'Amérique n'afflueraient pas bientôt vers la vieille Europe, pour y concurrencer les bois indigènes; une telle éventualité ne paraît point, en tout cas, à la veille de se réaliser.

Ce n'est point ici le lieu de m'étendre longuement sur le travail du bois, dont il est plus spécialement question dans d'autres chapitres. Je ne puis toutefois me dispenser d'en dire quelques mots.

L'un des faits les plus intéressants est l'habileté avec laquelle l'industrie européenne débite les bois précieux exotiques, les découpe en plaques minces pour en faire des applications sur d'autres bois, les tourne, les sculpte, les unit à des essences de moindre valeur, comme le noyer, le buis, le thuya, le caroubier, le pistachier, etc., et compose ainsi les objets d'ameublement les plus variés. Notre pays s'est acquis une incontestable supériorité dans cette branche de fabrication, notamment pour le placage; le travail mécanique y a réalisé des progrès remarquables; l'ancienne méthode du débitage à la scie a été remplacée par le tranchage au couteau, qui permet d'obtenir, au moyen du découpage en spirale, des feuilles de placage atteignant jusqu'à 400 mètres de longueur. L'ébénisterie, la production des meubles sont également très florissantes en Autriche, où a été imaginé l'emploi du bois courbé.

Partout, depuis quelques années, on redouble d'efforts pour substituer les procédés à la machine aux procédés à la main, non seulement dans l'ébénisterie, mais aussi dans la boissellerie, dans la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tonnellerie, si importante en certaines régions, et même dans la confection des sabots. Chaque jour, les machines-outils se multiplient, se spécialisent, s'approprient aux opérations les plus complexes comme aux opérations les plus simples; la petite industrie du bois, celle des objets de ménage, s'éloigne sans cesse des grands centres et ne se retrouve guère avec son ancienne vitalité que vers l'est de l'Europe, par exemple en Russie et en Roumanie.

La vannerie est peut-être, de toutes les branches du travail du bois, celle qui a le plus résisté à l'invasion des machines et à l'organisation des grands ateliers; beaucoup de vanniers exercent encore leur profession à domicile. Cependant la France et la Belgique possèdent déjà de vastes usines, produisant des objets de sparterie et de vannerie, et y employant de grandes quantités d'osier ou de rotin.

3. Les produits forestiers autres que le bois. — Parmi les produits forestiers autres que le bois, le *liège* doit être placé au premier rang, eu égard à la variété de ses applications, dont le cadre s'élargit constamment.

Le chêne-liège a pour patrie de prédilection le bassin de la Méditerranée. On le rencontre partout sur le littoral méditerranéen, au midi de l'Europe comme au nord de l'Afrique; mais ce sont l'Italie, l'Espagne, le Portugal et l'Algérie qui fournissent les qualités d'écorce les plus belles et les plus estimées.

Actuellement l'Italie exploite avec succès ses forêts de Toscane, de Sardaigne, de Calabre et de Sicile; toutefois elle exporte peu, et la majeure partie du liège qu'elle produit se consomme encore dans le pays. Les beaux lièges d'Espagne n'ont pas de rivaux pour les applications qui exigent un grain serré, fin et régulier; le Portugal trouve dans le liège un élément important de revenu forestier et en fait un grand commerce d'exportation, qui s'est sensiblement accru depuis 1878 : la Grande-Bretagne, dont la consommation annuelle représente une valeur de 20 millions de francs, s'approvisionne presque exclusivement dans la péninsule ibérique.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Véritable terre promise du chêne-liège, l'Algérie en possède autant que tout le reste du globe. Les forêts de cette essence de chêne couvrent 453,000 hectares, dont 267,000 appartiennent à l'État, 17,000 aux communes et 170,000 à des particuliers. A l'origine, l'État avait presque toutes ces forêts dans son domaine; mais, ne voulant point assumer pour lui seul le soin de les mettre en valeur, il a fait appel à l'industrie privée et, de 1848 à 1870, lui a livré 152,000 hectares, en vertu de contrats d'affermage, puis d'actes de cession. Près de 49,000 hectares de forêts domaniales et un peu plus de 3,000 hectares de forêts communales ont encore été affermés depuis 1876; toutefois l'État est déjà rentré en possession d'une partie des bois ainsi concédés et les derniers contrats auront pris fin en 1894. On sait qu'avant de donner du liège marchand, le chêne-liège doit subir une première opération dite *démasclage* et consistant à le dépouiller de son écorce subéreuse, et qu'ensuite les récoltes successives sont séparées par des périodes assez longues (dix ans environ): la mise en production des forêts algériennes a nécessairement exigé beaucoup d'efforts et de patience; les difficultés étaient d'ailleurs singulièrement accrues par le défaut de voies de transport, par le mauvais vouloir des indigènes, par les incendies allumés dans les plantations, par les maladies des ouvriers européens. De 1857 à 1866, la moyenne annuelle des exportations ne dépassait pas 400,000 francs, dont 300,000 pour la France et 100,000 pour l'étranger. En 1878, les mouvements de sortie atteignaient déjà 3,500,000 francs (1,700,000 francs pour la France et 1,800,000 francs pour l'étranger); en 1889, ils se sont élevés à 6,550,000 francs (3,890,000 francs pour la France et 2,660,000 francs pour l'étranger). Ainsi la progression a été des plus rapides, depuis quelques années. Notre colonie produit maintenant des lièges, dont la qualité, reconnue égale à celle des meilleures provenances du Portugal et d'Espagne, s'améliore avec la répétition consécutive des récoltes sur le même arbre; elle est en voie de devenir le centre le plus important de production, de commerce et peut-être même de mise en œuvre. Ses produits sont principalement expédiés en France, en Russie, en Angleterre et en Espagne : les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Espagnols achètent surtout des lièges en planches, qu'ils réexportent avec ceux de la Catalogne.

La consommation du liège croît avec une telle rapidité que la production en est insuffisante. Son emploi pour le bouchage suit le développement du commerce et de l'usage des vins, des spiritueux, de la bière et des autres liquides; le liège sert en outre à faire des bouées, des semelles, des rondelles de roues, des chapeaux, du noir d'Espagne, du linoléum, du pulvérin à conserve, des enveloppes isolatrices pour chaudières, conduites à vapeur ou réfrigérants, etc. En présence de cette augmentation constante des besoins et des débouchés, le Portugal et le midi de la France cherchent à étendre la culture du chêne-liège. Un appoint important pourra d'ailleurs être fourni par la Tunisie, qui a plus de 100,000 hectares susceptibles d'être mis en rapport.

De même que le liège, les *matières tannantes* constituent un produit forestier de premier ordre. La plus employée de toutes ces matières est encore l'écorce de chêne ou tan, base des plus anciens et des meilleurs procédés pour la préparation des cuirs. Malheureusement la disparition successive des forêts en Europe et l'accroissement continu de la consommation des cuirs ont eu leur contre-coup sur le prix du tan de chêne, qui est devenu moins abondant et dont le prix a atteint des chiffres très élevés.

Il a fallu remplacer l'écorce de chêne par d'autres substances également propres à durcir et à conserver les peaux. Les végétaux riches en tanin sont très nombreux; mais il en est beaucoup qui coûtent trop cher pour être utilisés : je citerai, par exemple, le thé, la cannelle, l'écorce de quinquina. A défaut d'écorces de chêne, les tanneurs emploient des écorces moins riches, telles que celles de châtaignier, de sapin, de frêne, de hêtre, de saule, ou encore l'écorce de bouleau dont les Russes et les Canadiens font usage et qui communique au cuir une odeur caractéristique. Les bois de châtaignier et de myrtille donnent aussi des extraits propres au tannage.

Chaque pays a su trouver dans la végétation propre à son sol et à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

son climat les écorces ou les bois le mieux appropriés au tannage. Peu de ces substances ont franchi les limites de la consommation locale et donné lieu à des échanges internationaux d'une réelle importance. Cependant il y a lieu de citer le cachou et la noix d'arec de l'Inde et de la Cochinchine, la noix de galle et le sumac d'Algérie, qui fournissent des extraits très riches en tanin, le bois nommé *quebracho*, originaire de l'Uruguay et de la République Argentine, l'écorce du chêne-liège : le quebracho, employé dans l'Amérique du Sud comme bois de construction, s'importe aujourd'hui chez nous en quantité assez considérable, pour son tan de première qualité; il remplace si avantageusement l'écorce de chêne, que le délai nécessaire au tannage des cuirs est abrégé de moitié.

Les *matières médicinales* empruntées aux forêts proviennent à peu près exclusivement des pays exotiques, et l'Amérique du Sud semble être la grande officine naturelle des produits végétaux dont notre thérapeutique a si habilement tiré parti. De ces produits, le plus important, l'écorce de quinquina, nous a été pendant de longues années à peu près exclusivement fourni par le Pérou et les contrées voisines (Nouvelle-Grenade, Bolivie, etc.). Mais l'incurie des exploitants avait tellement appauvri les forêts d'arbres à quinquina dans ces régions, que différents peuples de l'Europe ont cherché à assurer leurs approvisionnements en naturalisant cette précieuse essence sur le sol de leurs colonies. La Hollande a été la première à tenter avec succès la plantation des *Cinchonas* dans les îles de la Sonde; depuis, l'Angleterre a réussi à les acclimater dans les Indes. Au procédé barbare du Pérou, qui consistait à abattre l'arbre pour en arracher l'écorce, on a substitué un système d'écorçage analogue à celui du chêne-liège, laissant l'arbre sur pied et vivant. Ceylan et Java envoient beaucoup de quinquina sur le marché européen. Des essais d'acclimatation se poursuivent en Australie, en Algérie, au Caucase.

Dans la longue nomenclature des produits forestiers, on rencontre aussi les bois et les écorces servant à la *teinture*. Ces substances nous sont livrées par la côte occidentale d'Afrique, les Indes, le Japon et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

surtout l'Amérique tropicale : Haïti, les possessions anglaises d'Amérique, le Guatémala, le Mexique, la Guadeloupe, les États-Unis, la République Argentine, le Chili, le Vénézuela, la Martinique, le Brésil, le Nicaragua, etc., sont les centres d'une puissante exportation. En 1889, nous avons importé pour 17 millions environ de bois de teinture en bûches.

Un certain nombre d'écorces des pays exotiques et même de nos contrées s'utilisent comme matières *textiles*. Diverses espèces de noix de coco fournissent des fibres servant à la fabrication des tissus, des objets de sparterie et des cordages. En Suède, en Autriche, en France, on emploie à cet effet l'écorce du pin et du tilleul. L'industrie allemande est parvenue, en appliquant aux aiguilles des arbres résineux un traitement convenable, à en extraire une matière filamenteuse propre à la confection des tissus hygiéniques.

Les fibres de bois tendre donnent de la *pâte à papier* : c'est une industrie qui prend une extension toujours croissante.

J'aurais encore à parler des résines, des gommes, du caoutchouc, de la gutta-percha. Mais les indications qu'appellent ces divers produits trouveront plus naturellement leur place dans le chapitre suivant, consacré à la cueillette.

Actuellement les produits naturels des forêts sont loin d'être tous utilisés. Chaque jour, la science découvre des substances ou des applications nouvelles.

4. Statistique commerciale. — Les mouvements du commerce extérieur de la France, pour les bois, le charbon de bois, le liège et les écorces à tan, ont été les suivants depuis 1827 [1].

[1] Pour les écorces de quinquina, voir la statistique insérée au chapitre suivant.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

PÉRIODES OU ANNÉES.	BOIS A BRÛLER.		BOIS À CONSTRUIRE.		BOIS D'ÉBÉNISTERIE.		MERRAINS.	
	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.
	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
1827 à 1830. (Moyenne.)	1,090,000	25,000	12,810,000	2,000,000	1,010,000	33,000	3,920,000	"
1831 à 1840.. (*Idem.*)	840,000	55,000	18,810,000	1,780,000	1,640,000	21,000	4,590,000	41,000
1841 à 1850.. (*Idem.*)	980,000	62,000	28,750,000	2,830,000	2,110,000	22,000	9,670,000	30,000
1851 à 1860.. (*Idem.*)	870,000	112,000	43,990,000	6,820,000	3,660,000	182,000	16,870,000	226,000
1861 à 1870.. (*Idem.*)	740,000	341,000	118,640,000	17,850,000	4,870,000	710,000	29,690,000	850,000
1871 à 1880.. (*Idem.*)	730,000	570,000	124,430,000	24,850,000	4,450,000	1,330,000	48,640,000	1,870,000
1881.....	810,000	308,000	156,810,000	21,260,000	5,050,000	1,500,000	41,320,000	2,640,000
1882.....	830,000	259,000	166,360,000	16,880,000	6,390,000	1,370,000	45,880,000	2,230,000
1883.....	840,000	269,000	150,885,000	15,990,000	6,020,000	1,470,000	55,830,000	2,250,000
1884.....	1,510,000	490,000	126,850,000	16,810,000	5,410,000	1,730,000	50,410,000	2,130,000
1885.....	1,570,000	348,000	96,090,000	14,640,000	4,160,000	1,630,000	46,245,000	2,440,000
1886.....	1,730,000	430,000	89 720,000	12,040,000	4,320,000	940,000	37,280,000	2,240,000
1887.....	1,810,000	660,000	92,830,000	12,180,000	4,040,000	750,000	49,580,000	2,720,000
1888.....	1,600,000	910,000	96,160,000	15,990,000	5,190,000	1,100,000	53,810,000	3,510,000
1889.....	1,480,000	870,000	89,410,000	23,840,000	5,340,000	1,370,000	68,650,000	5,780,000

PÉRIODES OU ANNÉES.	CHARBON DE BOIS.		LIÈGE BRUT.		ÉCORCES À TAN.		BOIS DE TEINTURE.	
	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.
	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
1827 à 1830. (Moyenne.)	1,120,000	21,000	204,000	270,000	309,000	161,000	2,060,000	38,000
1831 à 1840.. (*Idem.*)	1,540,000	27,000	338,000	222,000	341,000	62,000	3,200,000	42,000
1841 à 1850.. (*Idem.*)	2,900,000	32,000	310,000	150,000	294,000	80,000	3,390,000	80,000
1851 à 1860.. (*Idem.*)	2,430,000	143,000	450,000	103,000	177,000	91,000	5,160,000	470,000
1861 à 1870.. (*Idem.*)	2,640,000	426,000	1,390,000	125,000	980,000	1,700,000	8,170,000	1,070,000
1871 à 1880.. (*Idem.*)	1,780,000	560,000	2,540,000	730,000	2,690,000	8,880,000	13,380,000	1,270,000
1881.....	2,560,000	441,000	2,820,000	1,570,000	2,940,000	6,240,000	20,190,000	1,845,000
1882.....	3,190,000	334,000	4,180,000	1,000,000	3,180,000	7,480,000	21,790,000	1,580,000
1883.....	2,800,000	421,000	3,870,000	1,190,000	2,240,000	6,000,000	22,050,000	1,930,000
1884.....	3,800,000	391,000	3,440,000	1,290,000	1,870,000	5,080,000	16,110,000	1,810,000
1885.....	3,490,000	401,000	4,250,000	1,520,000	1,330,000	4,460,000	18,990,000	2,200,000
1886.....	3,680,000	435,000	3,810,000	1,010,000	1,300,000	4,340,000	17,100,000	1,770,000
1887.....	4,010,000	580,000	4,010,000	700,000	1,700,000	5,320,000	20,760,000	1,910,000
1888.....	2,240,000	660,000	4,370,000	1,560,000	1,340,000	5,600,000	18,610,000	1,730,000
1889.....	1,900,000	560,000	5,000,000	3,510,000	1,210,000	5,990,000	16,570,000	1,300,000

Nous recevons du bois à brûler d'Allemagne et de Belgique; du bois à construire, de Suède, de Russie, de Norvège, d'Allemagne, de Suisse, des États-Unis, d'Autriche, de Belgique, de Turquie, d'Italie; du bois d'ébénisterie, du Brésil, des États-Unis, de Russie, du Mexique, de la côte occidentale d'Afrique, d'Haïti, de Turquie, du Vé-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nézuela, etc.; des merrains, d'Autriche, de Norvège, d'Allemagne; du charbon, d'Allemagne, de Belgique, d'Italie; du liège brut, d'Algérie, d'Italie, d'Espagne, de Portugal; des écorces à tan, d'Algérie, de Belgique et d'Espagne; des bois de teinture, de Haïti, du Guatémala, des possessions anglaises d'Amérique, du Mexique, de la Guadeloupe, des États-Unis, du Chili, du Vénézuela, de la République Argentine, etc.

Quant à notre exportation, elle est dirigée, pour le bois à brûler, vers la Belgique, la Suisse et l'Allemagne; pour le bois de construction, vers l'Angleterre, la Belgique, l'Espagne, la Suisse et l'Allemagne; pour le bois d'ébénisterie, vers l'Allemagne, l'Angleterre, l'Italie, la Belgique; pour les merrains, vers l'Algérie et l'Espagne; pour le charbon, vers la Belgique, la Suisse et l'Allemagne; pour le liège brut, vers l'Angleterre, l'Allemagne, l'Espagne, l'Italie; pour les écorces à tan, vers la Belgique, l'Allemagne, la Suisse, l'Italie; pour les bois de teinture, vers la Russie, l'Allemagne, l'Italie, l'Espagne, les Pays-Bas, la Suisse, la Belgique.

Le tableau précédent ne vise que les matières premières. Si l'on faisait entrer en ligne de compte les produits ouvrés des industries forestières, on arriverait à des chiffres sensiblement plus élevés. En 1889, la France a reçu par exemple du liège ouvré d'Espagne et d'Algérie (3,560,000 francs); des objets de boissellerie et autres ouvrages en bois, des États-Unis, d'Allemagne, de Belgique, d'Angleterre (1,650,000 francs); des objets de vannerie, de Belgique, d'Allemagne, d'Espagne, des Pays-Bas, d'Italie (890,000 francs). D'autre part, elle a exporté du liège ouvré en Angleterre, en Allemagne, en Belgique, en Suisse (4,600,000 francs); des objets de boissellerie en Belgique, en Algérie, en Angleterre, dans l'Amérique du Sud (4,950,000 francs); des objets de vannerie en Angleterre, dans la République Argentine, etc. (8,630,000 francs).

D'après les dernières publications du Ministère du commerce et de l'industrie, l'Autriche a exporté en 1887 pour 136 millions de bois, la Russie pour 109 millions, la Suède pour 102 millions, les États-

IMPRIMERIE NATIONALE

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Unis pour 94 millions, la Norvège pour 38 millions. De tous les pays d'Europe, c'est l'Angleterre qui importe le plus de bois (303 millions); la Belgique a aussi un chiffre respectable (52 millions).

L'exportation du liège espagnol monte à 17 millions et celle du liège portugais à 14 millions.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE III.

PRODUITS DE LA CHASSE. — PRODUITS, ENGINS ET INSTRUMENTS DE LA PÊCHE ET DES CUEILLETTES.

1. Considérations préliminaires. — L'exploitation de la nature vivante par les sociétés humaines se présente sous des formes variées. Si l'homme a, par degrés successifs, porté au plus haut point de perfection l'art de mettre en œuvre les forces de la vie, d'assouplir la nature, de la plier à ses volontés, de l'obliger à produire les animaux et les végétaux dont il a besoin, ses progrès et ses conquêtes ne pouvaient lui faire négliger les productions spontanées de la création, les êtres organisés dont beaucoup ne sauraient même se prêter au joug de la culture et qui forment essentiellement la richesse des contrées sauvages, ou sont la dernière trace de l'état primitif dans les régions habitées et cultivées.

Ces substances de nature animale ou végétale qu'il rencontre partout sont employées à satisfaire ses besoins, sans qu'il ait généralement apporté par son travail le moindre concours à leur production. En les recueillant, en les exploitant, il a créé une catégorie spéciale d'industries, à laquelle nous devons les fourrures, les plumes, l'ivoire, les cornes, l'huile de baleine, les coquilles, les coraux, les éponges, les gommes, les résines, les cires, etc., aussi bien que les bois et les écorces. Sauf les produits forestiers qui, en raison de leur importance, devaient faire l'objet d'une classe spéciale, les produits de ces industries si diverses ont été groupés et réunis, à l'Exposition universelle de 1889, en une classe unique, qu'on pourrait appeler, suivant l'expression du rapporteur de 1855, la classe de *l'histoire naturelle industrielle*.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

2. Produits de la chasse. Dépouilles d'animaux terrestres. — C'est à l'aide de la chasse que l'homme primitif a pu subvenir à ses premiers besoins. Tandis que la chair des animaux abattus lui fournissait sa nourriture, leur dépouille jouait le principal rôle dans son vêtement : car il a certainement songé à se couvrir d'une peau de bête, lavée et assouplie, bien avant d'avoir imaginé la filature et le tissage de la laine ou des fibres textiles détachées soit d'une écorce, soit d'une plante. Aujourd'hui encore, certaines peuplades des contrées glaciales, qui connaissent cependant l'usage des étoffes, emploient presque exclusivement les peaux de bête, tout à la fois préférables pour la protection contre le froid, plus résistantes aux intempéries et aux injures du temps, et moins coûteuses dans ces pays lointains et peu civilisés.

Les nations connues des temps anciens vivaient en général sous un climat tempéré et dès lors ne faisaient pour ainsi dire point usage des *fourrures;* le vêtement de peau était considéré par les Grecs et les Romains comme le signe distinctif et l'apanage des « Barbares ». Devenus les maîtres en Europe, ces barbares s'accommodèrent peu à peu aux habitudes et au luxe des pays conquis, et remplacèrent leurs peaux grossières par des draps d'Italie ou des Gaules; néanmoins ils ne renoncèrent pas entièrement à leurs vieilles coutumes, et continuèrent à porter les fourrures comme ornement. Pour satisfaire leurs caprices, le commerce alla chercher au loin les fourrures les plus rares et les plus fines : la Scandinavie et les côtes de la Baltique fournirent la martre zibeline; les marchands de Constantinople tirèrent des montagnes d'Arménie et de Crimée des fourrures de toute espèce, entre autres la précieuse hermine.

Durant tout le moyen âge, la pelleterie a été fort en honneur. Par les relations plus directes qu'elles ouvrirent avec l'Asie, les Croisades firent affluer en Europe des pelleteries fines jusqu'alors très rares; la fourrure devint l'insigne du rang et de la dignité, et pendant longtemps il fut défendu à la bourgeoisie de se vêtir des quatre grandes fourrures : zibeline, hermine, vair et gris, dont le privilège était exclusivement réservé à la noblesse.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Comme la demande croissait sans cesse et que la mode se faisait chaque jour plus exigeante, les marchands entrèrent en rapport avec les Hanses du Nord, pour se procurer les peaux légères, souples et au pelage épais des régions septentrionales; les villes flamandes, plus industrieuses et plus commerçantes que ne l'étaient celles de la France, nous servirent d'intermédiaires dans ce négoce. Le trafic des pelleteries, obligeant à correspondre au dehors avec les comptoirs principaux, nécessitant des capitaux et des voyages, ne pouvait être exercé que par des gens de choix : on conçoit donc que les pelletiers se soient élevés dans le monde des métiers à une situation privilégiée. Outre la place relativement considérable qu'elle tenait dans les échanges internationaux, la pelleterie constituait une branche de commerce fort intéressante, par les liens intimes unissant son avenir au développement des entreprises coloniales. C'est surtout à partir du XVI^e^ siècle que les progrès se sont accusés à ce point de vue, que de simples chasseurs et trafiquants de fourrures ont réussi à découvrir des terres nouvelles, à se transformer en conquérants et en civilisateurs.

Pendant que les Russes établissaient au nord de notre continent leurs premiers comptoirs de pelleteries, la France colonisait le Canada et commençait à exploiter les richesses de la faune sauvage dans cette belle région de l'Amérique septentrionale. Tout en chassant, en trafiquant avec les tribus indiennes, ses hardis trappeurs rencontraient des lacs, des fleuves inconnus, et préparaient les voies à la civilisation; l'influence exercée par eux fut telle, qu'on retrouve dans les noms géographiques, dans la langue et les mœurs des peuplades indigènes auxquelles ils ont été mêlés durant deux siècles, des traces ineffaçables de leur passage.

Au XVII^e^ siècle, les découvertes d'Hudson ouvraient un champ nouveau au trafic des pelleteries, et, en 1670, Charles II, roi d'Angleterre, délivrait une charte à la *Compagnie des marchands-fourriers de la baie d'Hudson,* pour l'exploitation des vastes territoires compris entre cette baie, les mers arctiques et les grands lacs. Longtemps disputées entre la France et l'Angleterre, les « terres du prince Rupert » furent définitivement reconnues à l'Angleterre par le traité d'Utrecht.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

D'importants comptoirs, fondés à l'embouchure des rivières et mis ainsi en communication avec les sauvages de l'intérieur, tiraient depuis de longues années un revenu considérable du commerce des pelleteries, quand s'éleva à Montréal une association rivale, la *Compagnie des territoires du Nord-Ouest,* qui éclipsa temporairement celle de la baie d'Hudson. Vers la même époque, les Russes instituaient à la Nouvelle-Arkhangel la *Compagnie de l'Amérique russe,* ayant pour cercle d'action toute l'Asie septentrionale, depuis l'Oural jusqu'au Kamtchatka, les côtes nord-ouest de l'Amérique et les îles Aléoutes. Plus tard, le célèbre Astor formait la *Compagnie américaine.*

En 1821, les deux compagnies anglaises de l'Amérique du Nord se sont fondues en une seule, la *Compagnie de la baie d'Hudson.* L'importance de cette société n'a fait que croître, au point que nulle entreprise américaine n'a pu atteindre le même degré de prospérité. Bien que le Gouvernement canadien ait racheté en 1870 ses privilèges et établi sur une portion de ses territoires des colonies agricoles, la *Compagnie d'Hudson,* avec ses 300 millions d'hectares en terrains de chasse, ses forts, son personnel de 3,000 voyageurs, chasseurs et trafiquants, fournit encore à l'Europe près de la moitié des fourrures qui y sont consommées.

Actuellement les fourreurs emploient les dépouilles des animaux qui se rencontrent dans toutes les parties du monde à l'état sauvage ou domestique; la récolte, l'échange et le transport des peaux donnent lieu à un très gros trafic, mettant en mouvement une foule d'intermédiaires et faisant circuler la richesse par une infinité de canaux. Les principaux pourvoyeurs du commerce des fourrures fines sont, outre la grande *Compagnie de la baie d'Hudson,* la *Compagnie russe,* dont le comptoir est à Moscou, et la *Compagnie danoise du Groënland,* dont le centre se trouve à Copenhague et qui exploite l'Islande, le Groënland et les mers glaciales. Ce sont ces compagnies qui fournissent à nos pelletiers leurs articles les plus rares et les plus recherchés : castor d'Amérique, loutre de mer et de rivière, martre zibeline de Sibérie, renard argenté de l'Amérique boréale, renards bleu et blanc de la mer Glaciale, vison du Canada, hermine

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de Russie et de Sibérie, ours blanc des mers polaires, skunk ou putois d'Amérique. Leur assortiment est complété par les envois de l'Amérique du Sud, chinchillas et rats gondins, par les peaux de tigre de l'Inde et de l'archipel Indien, les peaux d'ours d'Amérique et de Russie, enfin par les fourrures plus communes d'animaux sauvages et domestiques : martres, fouines, putois, belettes, moutons, agneaux, chèvres, lapins, qui alimentent surtout la consommation locale de chaque pays.

Grâce au développement des voies de communication, à la facilité des transports, aux traités de commerce, l'usage des fourrures s'est généralisé; l'importance de la récolte des pelleteries dans l'univers entier va en augmentant chaque année, et cependant la valeur moyenne des fourrures a triplé depuis cent ans. Plus de 600 espèces diverses sont utilisées de nos jours, depuis la vulgaire peau de brebis qui garnit la pelisse du paysan jusqu'aux zibelines valant leur poids d'or; le commerce des fourrures provoque en France un mouvement d'affaires qui n'est pas inférieur à 70 millions de francs; la pelleterie alimente dix corps d'état : fourreurs, chapeliers, fabricants de pinceaux, de brosses, d'articles de chasse, bourreliers, peaussiers, etc.

L'*art du fourreur,* qui consiste à apprêter les peaux pour les transformer en vêtements ou en objets d'ameublement, remonte presque aussi haut que l'usage des fourrures. Si les Esquimaux et les Lapons portent encore des peaux à l'état brut, les Chinois et les peuples de l'Europe sont depuis longtemps en possession des procédés voulus pour décharner les peaux, les fouler, les dégraisser, les assouplir, et même en déguiser la couleur naturelle sous des teintes artificielles. Toutefois ces procédés sont restés assez primitifs jusqu'au commencement du XIX^e^ siècle, époque à laquelle l'art de teindre les peaux a fait, notamment à Lyon, de grands progrès. Le prix élevé qu'atteignent aujourd'hui les fourrures fines a conduit chaque pays à tirer un meilleur parti de ses fourrures communes; on a ainsi inventé les opérations du lustrage (c'est-à-dire de la teinture à l'aide de mordants),

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qui, combiné avec le rasage et l'éjarrage, donne aux peaux communes l'apparence de fourrures fines depuis la base jusqu'à la pointe du poil; on est même arrivé à introduire et à fixer des poils blancs se détachant sur le pelage foncé, de manière à imiter les peaux les plus précieuses.

Nos fourreurs témoignent d'une réelle supériorité dans l'apprêt et le lustrage. Jusque vers 1850, la Russie, l'Angleterre, l'Allemagne étaient les grands marchés de pelleteries, en même temps que les principaux centres de préparation des fourrures; mais, depuis lors, les commerçants français se sont créé des relations directes avec les pays d'origine et se sont affranchis par là des intermédiaires coûteux qui grevaient leur négoce. Les peaux qui leur arrivent des régions productrices sont travaillées par eux, transformées en articles de luxe et souvent renvoyées, après ce travail et cette transformation, dans les pays mêmes d'où était venue la matière première.

D'ailleurs la France produit aussi sa part de pelleteries : peaux de martre, de renard, de putois, d'agneau, de chèvre, de chat et de lapin. Le lapin domestique surtout, le plus vulgaire mais aussi le plus varié de nos animaux à fourrure, puisque l'homme peut le modifier suivant ses besoins, est devenu l'une des plus merveilleuses ressources de notre industrie : on chiffre à 60 au moins le nombre des transformations différentes, toutes à bas prix, qui sont opérées sur les peaux de lapin, dont elles doublent et triplent parfois la valeur; ces fourrures artificielles, imitant les fourrures les plus fines et les plus recherchées, font l'objet d'une exportation considérable en Allemagne, en Russie, en Suède, en Grèce, en Turquie, marchés sur lesquels la Belgique seule peut entrer en concurrence avec nous.

Il n'y a guère que la Russie qui, d'une manière générale, soit une rivale puissante et redoutable de la France, dans l'art de la préparation des peaux. Mais si la fourrure est pour le Russe un produit de première nécessité, s'il sait lui donner des qualités vraiment pratiques et appropriées au climat du pays, il ne la traite pas avec la recherche, le goût et la science qui caractérisent nos fourrures françaises.

Naguère encore, les États-Unis et le Canada se contentaient de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vendre, sans les travailler, leurs pelleteries si abondantes et si riches; aujourd'hui ils les manufacturent avec succès et ne sont plus tributaires de l'industrie européenne que pour les articles très soignés.

L'Exposition de 1889 ne nous a pas révélé de fait capital, en ce qui concerne la matière première et le travail des fourrures. Néanmoins une conclusion s'en dégageait pour tout observateur impartial : je veux parler de l'état incontestablement prospère dont peut à bon droit s'enorgueillir l'industrie nationale. L'apprêt et le lustrage des fourrures communes, et en particulier des peaux de lapin, ont grandement progressé depuis dix ans; ces progrès ont permis à nos fabricants de refouler la concurrence menaçante que commençait à leur faire la Belgique, grâce à une main-d'œuvre peu coûteuse, à des procédés de manufacture rapides et économiques, au groupement des opérations successives dans le même atelier. Par suite d'un heureux changement d'outillage et de méthodes, les industriels français ont repris pleine possession de leur ancienne supériorité; ils produisent à un prix peu supérieur aux prix belges des peaux plus soignées et mieux teintes. La fabrique française a gagné aussi du terrain pour la teinture des fourrures fines; beaucoup de ces fourrures sont maintenant préparées en France, au lieu de l'être en Angleterre. Dans l'ensemble, le nombre des peaux travaillées par nos fourreurs a augmenté d'un quart depuis 1878; le personnel ouvrier s'est accru dans une très forte proportion pendant la dernière période de vingt ans; notre exportation sous toutes les formes doit approcher de 15 millions.

Outre l'industrie des fourreurs, le commerce de la pelleterie alimente celle des chapeliers qui, pour la fabrication des feutres, fait une consommation importante de poils de castor, de rat musqué, de rat gondin, et principalement de lièvre ou de lapin. Le nombre de peaux de lapin domestique ou de garenne et de peaux de lièvre récoltées annuellement a suivi une progression continue : il s'élève maintenant à plus de 200 millions, dont un tiers est fourni par la France et le surplus par l'Angleterre, l'Australie, l'Autriche, la Russie, la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Belgique, l'Allemagne, l'Espagne, etc. Cette récolte va, pour la plus large part, aux *couperies de poils;* quelques millions seulement passent à la pelleterie, qui les transforme en fourrures fines.

L'industrie du coupage est restée presque ignorée du gros public jusqu'en 1867, époque à laquelle elle se présenta pour la première fois à une exposition. Cependant elle avait déjà une grande importance, puisque sa production annuelle, rien qu'en France, dépassait 2 millions et demi de kilogrammes de poil, dont la moitié destinée à l'exportation vers les deux Amériques, l'Italie, l'Allemagne et l'Espagne.

Avant d'être employé à la confection des chapeaux, le poil donne lieu à une série de manutentions compliquées, qui s'effectuent partout mécaniquement; des perfectionnements nombreux ont été apportés aux machines depuis leur invention.

De tous les pays, la France est celui qui consomme la plus grande quantité de peaux pour ses couperies : elle transforme maintenant 70 millions de peaux indigènes par an et y ajoute un appoint de 5 millions de peaux importées de l'étranger. L'Angleterre, la Belgique, l'Allemagne, possèdent également des couperies importantes, et la création de l'industrie du coupage aux États-Unis est venue récemment enlever à notre production l'un de ses meilleurs débouchés.

Les poils ou *soies* de porc et de sanglier, ainsi que les *crins* de cheval, de vache et de bœuf, sont aussi l'objet de transactions et de manutentions fort intéressantes, en raison du nombre des métiers qui les utilisent.

C'est la Russie qui constitue le pays producteur par excellence des soies de porc; elle fournit à l'industrie européenne les trois quarts de sa consommation totale. La Russie produit également beaucoup de crins; néanmoins elle ne saurait soutenir la comparaison avec l'Amérique méridionale, dont ses immenses troupeaux de chevaux et de bœufs font le plus grand marché du monde pour les crins, les cornes et les sabots, aussi bien que pour les cuirs bruts.

Les soies, redressées, triées par longueur et par couleur, servent

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

principalement à la confection des brosses de tout genre et alimentent surtout la consommation de la Russie et de la France, qui, du reste, a elle-même des soies indigènes, blanches, fines et fort recherchées au dehors. Crêpés ou frisés, les crins sont employés dans l'ameublement, la bourrellerie, la carrosserie; la préparation s'en fait encore à la main, notamment en France, en Belgique et en Italie. Quant aux crins plats, ils trouvent leur emploi dans la fabrication des cordes, des tamis, des lignes, des archets et des étoffes; des fabriques de tissus de crins, créées à Paris au début de ce siècle, ont répandu la vogue de ces étoffes pour l'ameublement, et si, depuis, la faveur qui les avait d'abord accueillies a quelque peu diminué, elles n'en sont pas moins encore utilisées dans la confection des voitures et des véhicules de chemin de fer. Longtemps le marché de Londres a été celui sur lequel l'Europe tout entière allait chercher les crins qu'elle mettait ensuite en œuvre; après 1860, les traités de commerce et l'abolition des droits d'entrée en France ramenèrent l'importation directe dans nos ports, et le marché du Havre prit, surtout pour les crins de l'Amérique du Sud, un essor considérable : malheureusement la guerre de 1870 est venue détourner le courant au profit de Hambourg, de Liverpool et d'Anvers, qui tient aujourd'hui la tête.

Parmi les produits de la chasse, l'un des plus précieux est l'*ivoire*, fourni par les défenses de l'éléphant, du morse ou du narval, et par les dents de l'hippopotame. C'est de l'Inde que les Occidentaux ont appris les applications artistiques de l'ivoire, avant même de connaître l'animal dont les défenses seules arrivaient jusqu'à eux : les Grecs, qui, dès l'époque de la guerre de Troie, avaient été initiés par les Asiatiques aux secrets du travail de l'ivoire, ne virent d'éléphants que lors des conquêtes d'Alexandre; leurs artistes ne tardèrent pas à exceller dans le maniement de cette belle matière, qui leur était apportée avec l'or et l'argent par les navigateurs phéniciens, et en firent des lyres, des meubles, des statues, comme cette colossale Minerve du Parthénon, recouverte d'or et d'ivoire, dont Pausanias nous a laissé la description. Plus tard, les Romains recoururent largement à l'ivoire

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pour leurs bas-reliefs, leurs statues, leurs meubles, et la capitale du monde posséda longtemps « 94 chevaux d'ivoire sur ses places pu-« bliques ». Les sculptures d'ivoire, plus peut-être que tout autre genre de production, rattachent intimement les arts du moyen âge à ceux de l'antiquité : car les Byzantins en avaient usé avec profusion, quand les artistes gothiques entrèrent dans la même voie pour leurs œuvres religieuses, leurs crucifix, leurs statuettes, leurs coffrets. Au temps de la Renaissance, le travail de l'ivoire, qui avait atteint déjà une extrême perfection en Italie, en Flandre et en Hollande, devint en France une spécialité de la ville de Dieppe, dont les marins allaient chercher la matière précieuse sur les côtes de Guinée; dès le XVII^e^ siècle, les ivoiriers dieppois maniaient l'ivoire « comme si c'eût été de la « cire », et leur vieille réputation a subsisté, malgré la décadence du XVIII^e^ siècle [1].

La consommation d'ivoire dans les divers pays croît d'année en année, et l'on pourrait craindre de voir les sources d'approvisionnement s'épuiser à brève échéance, si les explorations récentes au centre de l'Afrique n'avaient révélé de profondes et impénétrables forêts, couvrant des étendues immenses, asiles sûrs où l'éléphant vit et se reproduit à l'abri des chasseurs indigènes et des traitants arabes. Pendant longtemps, l'Angleterre a monopolisé l'importation en Europe de l'ivoire d'éléphant, que les Arabes lui apportaient à Zanzibar; maintenant ce monopole n'est plus si exclusif; la France, la Belgique et l'Allemagne commencent à faire des importations directes.

De même qu'autrefois, ce sont l'Inde et l'Afrique qui fournissent l'ivoire d'éléphant aux artistes et aux industriels. L'Inde alimente surtout la consommation de la Chine et du Japon, où, de temps immémorial, le travail de l'ivoire est très répandu et très perfectionné. Outre les défenses d'éléphant, l'Afrique produit des dents d'hippopotame, dont le trafic sur la côte occidentale atteint un chiffre assez élevé. Nos marchés s'approvisionnent par l'intermédiaire du Danemark en dents de morse et de narval provenant des mers glaciales.

[1] Voir, pour plus de détails sur les applications artistiques de l'ivoire, tome V, page 254.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La fabrication des objets tournés et sculptés, l'emploi de l'ivoire pour la tabletterie, pour la confection des manches de couteaux, des montures d'éventails, etc., demeurent circonscrits dans un petit nombre de localités, en Angleterre, en Bavière, comme en France : nos fabricants de Paris et de Dieppe consomment le quart des 600 tonnes d'ivoire importées annuellement en Europe.

Il était naturel que la rareté de l'ivoire suscitât des contrefaçons : une matière connue sous le nom d'*ivoire végétal* ou *corozo*, qui provient d'un palmier de l'Amérique intertropicale et qui coûte quatre ou cinq fois moins, l'imite assez parfaitement; l'importation du corozo en Europe n'est pas inférieure à 14 millions de kilogrammes, et la fabrication du bouton en ivoire végétal a pris au delà du Rhin une grande extension.

Les *os* et les *cornes* de toutes provenances sont généralement employés par les mêmes industries et affectés aux mêmes usages que l'ivoire; ils remplacent cette belle et riche matière dans les objets communs de tabletterie, de brosserie, de coutellerie. D'après les statistiques douanières, on évalue à 7 ou 8 millions de kilogrammes l'importation annuelle de la corne blonde d'Irlande, si justement réputée, des cornes de la Plata, utilisées surtout dans la fabrication des peignes, ainsi que des cornes de buffle qui viennent des Indes anglaises et que notre industrie transforme en tiges minces et flexibles, pour remplacer la baleine devenue trop rare. On sait que la corne se ramollit par une macération prolongée et peut alors s'étendre; elle est susceptible de se fondre sous l'action d'une chaleur humide et douce, ce qui permet de la mouler.

Pour divers usages, les os suppléent l'ivoire. Ils sont en outre, avec les déchets de corne, la matière d'un commerce très considérable, comme éléments de la fabrication du noir animal et des engrais.

Aux produits de la chasse se rattachent le *musc*, le *castoréum*, la *civette*, utilisés en médecine ou en parfumerie.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le musc est fourni par une poche ovalaire placée sous le ventre du chevrotin porte-musc. Ce gracieux animal, de la taille d'un petit chevreuil, vit dans les hautes montagnes de la Chine et du Thibet; les chasseurs le poursuivent et le tuent impitoyablement pour lui ravir son parfum. Les espèces les plus connues sont celles dites *musc de Chine*, *musc tonquin* et *musc kabardin* ou *de Sibérie;* comme l'indique M. de Clermont, une poche de daim adulte, renfermant de 40 à 60 grammes de musc, peut coûter jusqu'à 3,400 francs. Shanghaï, c'est-à-dire l'Angleterre, a eu longtemps le monopole des importations; nous commençons à importer directement.

On recherche le castor, non seulement pour sa fourrure, mais aussi pour le castoréum, qui s'élabore dans des glandes disposées sous la peau de la région inguinale.

Quant à la matière onctueuse et parfumée dite *civette,* elle provient de l'animal de ce nom et s'accumule dans des poches d'où il est facile de la retirer : les nègres du centre de l'Afrique élèvent à cet effet des civettes, dont ils recueillent le viverrum plusieurs fois par mois.

Les dépouilles des bêtes à *plumes,* sans avoir pour l'industrie toute l'importance de celles des bêtes à poil, donnent cependant, outre des parures d'une inestimable richesse, l'une des matières les plus indispensables à la vie domestique.

Certains oiseaux, à la vérité peu nombreux, fournissent de véritables fourrures : la peau, apprêtée et blanchie, du grèbe, du cygne, surtout de l'oie qui remplace le cygne devenu trop rare, est transformée en garnitures et vêtements légers, en manchons, en palatines, etc.

Mais c'est principalement à l'ornementation des robes et des coiffures féminines que les plumes sont employées. Jadis les hommes rivalisaient à cet égard de coquetterie avec les femmes; aujourd'hui ils ont abandonné la partie et ne gardent guère des anciennes traditions que les plumets militaires; le beau sexe suffit d'ailleurs à « faire « marcher le commerce ».

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

J'ai déjà eu à étudier les parures en plumes dans un autre chapitre (*Habillement des deux sexes*). Il ne me reste à donner ici que quelques indications complémentaires sur les dépouilles d'oiseaux, en tant que matière première.

Toutes les plumes qui ont assez de consistance pour supporter les apprêts sont en usage. Au premier rang se placent les plumes d'autruche, remarquables par leur finesse, leur élasticité, leur longueur, la beauté de leurs franges, la facilité avec laquelle elles se nettoient et prennent diverses teintures; je ne reviens pas sur les renseignements consignés tome V, page 527, au sujet de l'*oiseau-chameau* des Orientaux, des pays où on le trouve en plus grande abondance à l'état sauvage, des essais d'élevage tentés en Algérie vers 1850 et repris plus tard avec tant de succès dans la colonie anglaise du Cap, des migrations successives qu'a subies le marché européen, des fluctuations énormes survenues dans les prix.

Après l'autruche, la place d'honneur appartient aux oiseaux des pays tropicaux : c'est là que la richesse des tons, les oppositions de couleurs, le chatoiement des reflets atteignent leur plus haut degré; c'est là que vivent les oiseaux-mouches, les colibris, les oiseaux de paradis, etc., dont les dépouilles éblouissantes et précieuses sont importées à Londres et à Amsterdam, pour venir ensuite se faire façonner à Paris.

Citons encore le marabout du Sénégal et du Soudan, l'aigrette ou héron blanc de la Sibérie et de la Guyane, le casoar de l'archipel Indien, le paon, l'ibis, le pélican, le faisan doré, le cygne, la dinde, le coq, enfin le vautour, dont les plumes nous viennent en quantité considérable des pampas de l'Amérique du Sud et de la Patagonie, mais servent moins à la fabrication des parures qu'à celle des plumeaux.

Paris a une prépondérance incontestée pour le façonnage de la plume; son mouvement d'affaires, dans cette branche d'industrie, dépasse 15 millions. Dès le xv^e^ siècle, la plumasserie française jouissait d'une réputation universelle; nos ouvriers sont restés maîtres en l'art de donner l'apprêt, de plier la plume à sa destination. Comme

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tout ce qui touche à la mode, le travail des plumes de parure est exposé à des variations capricieuses, dont parfois la corporation souffre cruellement.

L'usage des lits de plumes ne date pas d'hier : au temps de Martial, il existait déjà chez les Romains, qui s'en approvisionnaient dans la vallée du Nil. De nos jours, la literie consomme une grande quantité de duvet. Parmi les différentes sortes de duvet, la plus recherchée, eu égard à son élasticité et à sa légèreté, est le duvet de l'eider, palmipède des contrées froides (Laponie, Islande, Groënland, Spitzberg), qui fait son nid au milieu des rochers et le garnit de petites plumes fines et délicates, arrachées sous le ventre de la femelle : ce duvet vif ou édredon est bien préférable à celui que l'on recueille sur l'animal mort; les Groënlandais exportent annuellement plusieurs milliers de livres d'édredon. Le cygne donne aussi un duvet excellent. Puis viennent de nombreux oiseaux domestiques ou sauvages, oie, canard, poule, hibou, chouette, corbeau, etc. Il est essentiel que le duvet destiné à la literie soit propre et sain : aussi doit-on soumettre l'édredon recueilli dans les nids d'eider à une épuration complète qui le débarrasse de tout détritus; l'outillage mécanique à l'aide duquel s'effectue cette épuration a été très perfectionné en Autriche, en Allemagne et en Hollande, ainsi qu'en France.

J'ai déjà mentionné l'utilisation des plumes pour la confection des plumeaux.

Pendant plus de douze siècles, les plumes d'oie ont été employées comme plumes à écrire : il fut un temps, vers 1830, où l'importation pour cet objet n'était pas inférieure à 80,000 kilogrammes par an. C'est un commerce qui a presque complètement disparu, depuis l'invention des plumes métalliques. Les plumes de corbeau, dont se servaient les dessinateurs, ont eu la même infortune.

Voici comment se résument, pour les principaux articles qui viennent d'être passés en revue, les tableaux statistiques de la douane depuis 1827.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

PÉRIODES OU ANNÉES.	PELLETERIES BRUTES.		PELLETERIES OUVRÉES.		POILS (1).		DENTS D'ÉLÉPHANT.	
	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.
	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
1827 à 1830.. (Moyenne.)	3,110,000	510,000	5,100	61,000	8,980,000	71,000	387,000	6,400
1831 à 1840.... (*Idem.*)	1,220,000	505,000	17,000	117,000	7,540,000	186,000	471,000	3,300
1841 à 1850.... (*Idem.*)	1,670,000	800,000	7,500	112,000	5,576,000	1,200,000	770,000	5,000
1851 à 1860.... (*Idem.*)	1,800,000	870,000	13,000	104,000	6,320,000	5,250,000	2,080,000	52,000
1861 à 1870.... (*Idem.*)	7,620,000	2,270,000	71,000	354,000	7,110,000	12,790,000	2,950,000	364,000
1871 à 1880.... (*Idem.*)	9,400,000	3,700,000	84,000	2,740,000	7,150,000	10,490,000	3,330,000	287,000
1881.....	10,010,000	4,630,000	14,000	5,260,000	6,980,000	13.900,000	3,190,000	462,000
1882.....	9,820,000	7,980,000	42,000	2,320,000	7,020,000	14,360,000	3,120,000	283,000
1883.....	7,900,000	6,290,000	40,000	3,160,000	7,960,000	13,690,000	4,250,000	291,000
1884.....	7,670,000	6,680,000	41,000	1,490,000	7,690,000	11,260,000	2,750,000	390,000
1885.....	5,930,000	3,230,000	52,000	2,670,000	7,320,000	8,750,000	3,110,000	560,000
1886.....	10,160,000	3,180,000	41,000	4,480,000	8,370,000	9,220,000	3,870,000	331,000
1887.....	6,740,000	3,950,000	68,000	3,890,000	7,870,000	13,020,000	2,830,000	495,000
1888.....	8,620,000	3,720,000	112,000	3,980,000	8,060,000	10,380,000	3,710,000	388,000
1889.....	10,390,000	3,460,000	133,000	4,140,000	7,400,000	11,240,000	3,400,000	1,000,000

(1) Ces chiffres ne comprennent pas les crins qui, en 1889, ont donné lieu à une importation de 5,250,000 francs (Algérie, Belgique, République Argentine, Italie, etc.) et à une exportation de 1,630,000 francs (Belgique, Allemagne, Suisse, Angleterre, Italie, etc.).

PÉRIODES OU ANNÉES.	CORNES BRUTES.		MUSC.		PLUMES À LIT (2).	
	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.
	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
1827 à 1830.. (Moyenne.)	500,000	3,300	11,300	"	396,000	57,000
1831 à 1840.... (*Idem.*)	790,000	6,400	10,200	1,500	415,000	67,000
1841 à 1850.... (*Idem.*)	980,000	12,700	33,000	1,900	440,000	138,000
1851 à 1860.... (*Idem.*)	1,580,000	34,000	130,000	"	333,000	560,000
1861 à 1870.... (*Idem.*)	2,510,000	345,000	270,000	36,000	1,590,000	1,050,000
1871 à 1880.... (*Idem.*)	5,750,000	1,820,000	790,000	69,000	2,310,000	2,185,000
1881.....	7,620,000	2,170,000	790,000	36,000	2,690,000	1,700,000
1882.....	8,450,000	1,420,000	1,420,000	10,500	3,020,000	1,610,000
1883.....	8,370,000	1,570,000	2,190,000	71,000	2,830,000	1,510,000
1884.....	7,530,000	1,830,000	3,230,000	38,000	3,230,000	1,440,000
1885.....	6,490,000	1,680,000	3,590,000	4,000	2,390,000	1,350,000
1886.....	6,010,000	2,280,000	3,640,000	"	2,030,000	1,900,000
1887.....	6,120,000	1,300,000	5,930,000	93,000	1,500,000	1,930,000
1888.....	7,530,000	1,920,000	4,230,000	88,000	1,510,000	2,970,000
1889.....	7,200,000	1,730,000	4,580,000	130,000	1,485,000	3,390,000

(2) Pour les plumes de parure, voir tome V, chapitre des vêtements.

Nous recevons des pelleteries brutes de Russie, de Belgique, d'Angleterre, d'Allemagne, de Turquie; des poils d'Allemagne, de Belgique, des États-Unis, d'Angleterre, de Russie, de Turquie; des dents d'éléphant d'Angleterre; des cornes brutes de l'Inde anglaise, d'Angleterre, du Brésil, de Turquie, de l'Uruguay, de la République Ar-

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

gentine, etc.; du musc de Chine, d'Angleterre, etc.; des plumes à lit d'Allemagne, de Chine, d'Angleterre, d'Autriche.

Quant à nos exportations, elles sont dirigées, pour les pelleteries brutes, vers la Belgique, l'Angleterre, les États-Unis, l'Allemagne, l'Italie; pour les pelleteries ouvrées, vers l'Angleterre et l'Allemagne; pour les poils, vers les États-Unis, l'Angleterre, l'Allemagne, la Belgique; pour les dents d'éléphant, vers l'Angleterre; pour les cornes brutes, vers l'Angleterre, l'Allemagne, la Belgique, l'Italie, l'Espagne; pour les plumes à lit, vers l'Angleterre, l'Allemagne et la Suède.

3. La pêche, ses engins et ses produits. — De même que la chasse, la *pêche* est d'invention primitive : l'homme fut avant tout chasseur ou pêcheur, suivant les conditions d'existence dans lesquelles il se trouvait placé; les besoins de la vie devaient nécessairement le conduire dès l'origine à chercher dans les eaux de la mer et des fleuves les ressources alimentaires qu'y trouvent encore les sociétés modernes.

La mer, immuable dans son immensité, intarissable dans ses productions, est restée peuplée des mêmes poissons, des mêmes coquillages, et continue à nous les livrer, comme elle les livrait à nos ancêtres. De nos jours, les engins de pêche sont à peu près ce qu'ils étaient dans les temps les plus reculés. Tandis que les instruments de chasse ont été l'objet de perfectionnements successifs et se sont progressivement transformés, pour passer de la massue primitive à l'admirable fusil contemporain, la pêche du thon, par exemple, sur les côtes de la Méditerranée se fait encore au moyen des grands filets de sparte ou *madragues*, dont se servaient les Grecs de l'antiquité.

A Rome, la pêche était en extrême faveur. Pour satisfaire les appétits de la grande ville, les Romains avaient établi des pêcheries jusqu'au delà des colonnes d'Hercule. Leurs engins, harpon, ligne, filet, nasse, se retrouvent chez les peuples les plus civilisés de notre époque. Ils poussaient très loin l'art de préparer des appâts pour la pêche à la ligne, connaissaient les amorces factices et employaient notamment des mouches artificielles en plumes d'oiseaux. La pêche

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des baleines et des cachalots, qui venaient à s'égarer dans la mer Méditerranée, se pratiquait, ainsi qu'elle s'est longtemps pratiquée parmi nos baleiniers, au moyen de harpons lancés à la main par des hommes montés sur une barque légère.

Presque anéantie par l'invasion des Barbares, la belle industrie romaine de la pêche se trouva confinée le long des côtes et, pendant plusieurs siècles, ne fut plus guère exercée que pour subvenir aux besoins des habitants du littoral.

Il était réservé aux peuples du Nord de remettre la grande pêche en honneur. Ce furent les Slaves qui, les premiers, pêchèrent le hareng sur les côtes de la Scandinavie; leur exemple suscita bientôt des imitateurs dans les régions septentrionale et centrale de l'Europe. Dès le IX^e^ siècle, les Basques allaient harponner la baleine dans le golfe de Gascogne et la morue était pêchée sur les côtes de l'Islande.

Après que la découverte de l'Amérique eut développé la navigation au long cours, une connaissance plus complète des mers vint donner plus d'essor à la grande pêche : c'est surtout du XVI^e^ siècle que datent les progrès de cette industrie, qui a si puissamment aidé à l'expansion des marines européennes et qui contribue pour une si large part à notre alimentation.

La pêche de la *baleine*, dans laquelle les Basques avaient déployé de bonne heure tant d'activité et d'audace, demeura jusqu'au XVI^e^ siècle le privilège presque exclusif de leurs marins : ils fournissaient alors à l'Europe la majeure partie des huiles de baleine dont elle avait besoin; leurs expéditions, d'abord limitées au golfe de Gascogne, s'étaient peu à peu étendues vers les parages du Canada et du Groënland. Au cours du XVI^e^ siècle, les armements des Hollandais commencèrent à prendre de l'importance. Tandis qu'ils formaient au Spitzberg un vaste établissement pour la fonte de la graisse de baleine et que les avantages de la pêche attiraient dans les régions boréales une foule de navires hambourgeois, danois, etc., les Anglais, de leur côté, expédiaient à la fois dans les mers du Groënland et dans celles du cap Horn de nombreux baleiniers. Dès la fin du XVIII^e^ siècle, l'Angleterre

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

suffisait à sa consommation d'huile de baleine ; au début du XIXe siècle, alors que déclinait la marine hollandaise, les armateurs britanniques tiraient un revenu de 24 millions de la pêche des mers australes et un revenu de 11 millions de celle des mers boréales. Mais, depuis 1850, les mers avoisinant le cap Horn se sont considérablement appauvries; en revanche, les Américains, rencontrant en abondance dans la mer de Behring une espèce de baleine semblable à la baleine australe, en ont entrepris la pêche et y trouvent actuellement un revenu de 18 millions : leurs armements sont, avec ceux des Anglais, les seuls qui comptent encore aujourd'hui.

Pendant une longue série de siècles, les appareils servant à pêcher la baleine ont consisté, comme au vieux temps, en harpons à main, en lignes et en lances pour tuer la baleine harponnée. L'idée de recourir à la poudre n'est venue ou du moins n'a été réalisée que très tardivement. Maintenant les harpons lancés par des pièces à feu sont presque seuls employés. Depuis peu d'années, la pratique courante s'est emparée des harpons explosifs, que des baleiniers d'Angleterre avaient expérimentés dès 1821.

Malgré l'amélioration des engins, la pêche de la baleine est bien moins productive qu'autrefois : ce cétacé devient plus rare et sa taille moyenne diminue; le prix des fanons a décuplé en trente ans; la production d'huile a suivi une marche décroissante, et, pour la préparation des cuirs, on est souvent obligé de recourir à l'huile de phoque ou d'autres poissons, tels que la morue et le hareng américain.

Plus rare encore que la baleine, le *cachalot* donne une huile utilisée pour le graissage des machines et fournit le *spermacéti* ou *blanc de baleine,* qui a longtemps servi à la fabrication des bougies : le renchérissement de cette substance en rendait l'emploi presque impossible, quand les découvertes de Gay-Lussac et Chevreul ont permis de la remplacer avantageusement par la paraffine et l'acide stéarique.

Parmi les grandes pêches, celle de la *morue* tient sans contredit la place la plus importante : les progrès en ont été tardifs, et plusieurs siècles se sont écoulés avant que l'on songeât à tirer parti de la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mine inépuisable découverte aux alentours du grand banc de Terre-Neuve.

Au XVIII^e siècle, grâce aux nombreux encouragements par lesquels l'autorité royale stimulait le zèle des armateurs et des matelots, la pêche de la morue procurait à la France un revenu de plus de 15 millions; elle occupait près de 400 navires et 10,000 marins. A partir de la Révolution, nous sommes entrés dans une période temporaire de déclin, tandis que la pêche anglaise voyait au contraire sa prospérité croître d'une manière continue. En 1889, la pêche de la morue par les navires français a produit 43 millions de kilogrammes de morues sèches et salées, d'une valeur de 25 millions de francs environ. Bien que Terre-Neuve soit le séjour de prédilection de la morue, on en pêche aussi une certaine quantité sur les côtes de Norvège et d'Islande. Quant aux engins, ce sont toujours les lignes de fond ou à la main, et quelquefois les filets : mais certaines lignes comptent maintenant jusqu'à 15,000 hameçons, et certains filets anglais mesurent 340 mètres de longueur sur 50 mètres de hauteur!

Nos marins sont demeurés fidèles à leurs traditions et à leurs engins séculaires, pour la pêche côtière et spécialement pour celle des poissons qui voyagent en bandes, comme le hareng et la sardine. Ils se servent encore des barques lourdes et incommodes du temps passé; ils emploient les mêmes filets, les mêmes chaluts, les mêmes lignes, les mêmes appâts. J'aurai, il est vrai, à relater quelques progrès accomplis par les États-Unis, le Canada, l'Angleterre, la Norvège; mais dans la plupart des pays, comme chez nous, l'art de la petite pêche est resté stationnaire, tandis que tout progressait autour de lui.

Un perfectionnement a pourtant été apporté dans les procédés de la fabrication des filets, industrie capitale pour les populations maritimes qui en font une consommation considérable. En 1805, Jacquart prenait le premier brevet français d'invention d'une machine à faire le filet; en 1806, le jury décernait la médaille d'or au métier de Buron; depuis est venue la machine de Pecqueur, récompensée à l'Exposition nationale de 1849 et progressivement transformée au

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

point de pouvoir faire plus d'un million de nœuds en dix heures. Cependant la production mécanique des filets se développe avec peine, car les pêcheurs ont l'habitude de préparer eux-mêmes leurs engins, et cette occupation remplit les loisirs forcés que leur impose la mauvaise saison; n'étaient certaines nécessités urgentes et les avaries graves qu'occasionnent parfois les gros temps, la machine risquerait fort de ne point faire ses frais.

Après cette revue rapide de la grande pêche et de la petite pêche maritimes, je considère comme un devoir d'insister avec le rapporteur de la classe 43 sur l'état de stagnation, de fixité, d'attachement excessif au passé, où se cantonnent notre matériel et nos procédés. Il est certain que l'indifférence et la routine ont trop de prise sur nous, que nous ne nous préoccupons pas suffisamment d'obéir à la loi du progrès scientifique et économique, de rajeunir nos engins et nos méthodes, de protéger l'existence de nos marins, d'alléger les fatigues si lourdes qu'ils supportent pour un profit toujours maigre, d'ouvrir des débouchés faciles et rapides aux produits de la pêche. N'oublions pas que c'est une industrie qui emploie 25,000 bâtiments, occupe 87,600 matelots, constitue la principale ressource de nos populations côtières et intéresse au premier chef l'avenir de notre marine militaire, c'est-à-dire la défense de la patrie.

Les États-Unis, le Canada, l'Angleterre et la Norvège sont les pays où les progrès ont été le plus sensibles. Au nombre des engins nouveaux que l'on rencontre notamment aux États-Unis, le plus remarquable est le filet-bourse en forme de barrage circulaire de 50 mètres de profondeur et 400 mètres de développement, dont on ferme le fond au moyen d'un coulant : ce filet sert à la pêche des maquereaux, des harengs, des aloses. L'Amérique a multiplié les ports de refuge, les feux, les postes de secours, les appareils avertisseurs de tempêtes, pour venir en aide à ses pêcheurs et les prémunir autant que possible contre les dangers auxquels ils sont trop souvent exposés. A peine est-il besoin de dire qu'ici comme dans toutes ses entreprises industrielles et commerciales, l'Angleterre a fait preuve d'initiative et d'esprit pra-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tique; le tonnage des bâtiments a été augmenté et beaucoup d'entre eux sont mus par la vapeur; les pêcheurs sont réunis en associations soutenues par le crédit; ils opèrent généralement en flottille avec l'assistance d'un navire à vapeur qui les met en communication rapide avec la terre, transporte promptement le poisson dans les ports voisins, le livre ainsi en meilleure condition et évite toute perte de temps aux bateaux de pêche; le passage des bancs de poissons est annoncé par le télégraphe ou par des pigeons voyageurs que la flotte emporte avec elle, et le téléphone relie les ports de pêche à des postes d'observation. Américains et Anglais sont parvenus à livrer les produits de leur pêche en parfait état de conservation, même sur des marchés fort éloignés du littoral : leurs bateaux ont des viviers et des glacières; à l'arrivée au port, la cargaison est transbordée dans des wagons réfrigérants, que des trains à marche rapide transportent à des centaines de kilomètres de distance.

Organisée avec ce soin et cette intelligence, la pêche devient plus productive et plus rémunératrice, et ses produits concourent pour une plus large part à l'alimentation du pays. En outre, par delà l'Océan comme par delà la Manche, les déchets sont habilement utilisés à la préparation des huiles, des engrais, des appâts.

Il faut que nous nous engagions résolument dans la voie qui nous est ainsi tracée, que nous ne reculions pas devant l'amélioration de nos bateaux, de nos engins, de nos méthodes, de nos procédés de transport, que nos poissons de mer aillent se répandre à bon marché sur tous les points du territoire. La France a des marins énergiques, courageux, durs au labeur et aux fatigues, sobres, toujours prêts à affronter les dangers : avec de tels éléments, elle ne doit rester en arrière d'aucune autre nation.

Nos cours d'eau se sont dépeuplés : c'est un gros chagrin pour les pêcheurs à la ligne, qui ont perdu le principal attrait de leur passe-temps favori; c'est surtout un dommage sérieux pour l'alimentation publique. Le mal tient à des causes multiples, au mauvais aménagement de l'exploitation, à la pêche durant les périodes de reproduction,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à la destruction impitoyable du fretin, à l'emploi d'engins dévastateurs, au braconnage, etc. Depuis quelque temps de grands et de louables efforts ont été faits pour remédier à la situation; les conditions dans lesquelles se reproduit le poisson sont mieux connues; des mesures protectrices ont été édictées par les pouvoirs publics; on a entrepris le repeuplement des rivières par la pisciculture, on a rouvert la route aux poissons migrateurs, en ménageant des échelles au travers des barrages usiniers. Seule, la pisciculture appellerait quelques indications dans ce rapport; mais la classification l'a rangée dans une autre classe (groupe de l'agriculture), et je dois par suite me réserver d'y revenir plus tard.

Les États-Unis et l'Angleterre, notamment ce dernier pays, tiennent la tête pour la fabrication des lignes, des hameçons, des amorces : nos voisins ont poussé à un très haut degré de perfection les mouches artificielles; ils imitent les mouches naturelles avec une exactitude surprenante.

Il existe une très grande variété de filets servant à la pêche en rivière et dans les lacs. La fabrication de ces filets se fait encore presque exclusivement à la main; elle a d'ailleurs beaucoup moins d'importance que celle des filets marins.

La mer ne se borne pas à nous livrer de précieuses ressources pour notre alimentation, à nous fournir la matière première des huiles, des colles, des engrais de poisson; elle nous donne aussi nombre de produits secondaires.

Parmi ces produits, l'un des plus intéressants est le *corail*, dont les anciens appréciaient déjà la beauté, mais sur la nature et l'origine duquel le mystère a plané si longtemps. Théophraste le rangeait dans le règne minéral; Pline et longtemps après lui Tournefort (1700), dans le règne végétal; Réaumur le considérait comme une matière minérale, formée dans le tissu de certains végétaux marins; en 1706, le comte de Marsigli alla jusqu'à annoncer qu'il l'avait vu fleurir! Un jeune étudiant en médecine, de Peyssonnel, dont le mémoire est conservé au Muséum, fut le premier à découvrir l'origine animale du

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

corail; au début, il fut bafoué, même par les savants les plus perspicaces; cependant des observations attentives obligèrent bientôt à lui rendre justice. Depuis les travaux de M. Lacaze-Duthiers, l'histoire naturelle du corail n'a plus de secrets. On sait aujourd'hui que cette matière si recherchée est produite par l'un des représentants inférieurs de la vie animale : le polype corallien, doué de mobilité dans les premiers temps de son existence, finit par s'immobiliser dans la masse qu'il a sécrétée et, chose curieuse, s'y reproduit par bourgeonnement, en même temps qu'il engendre des larves destinées à fonder ailleurs de nouvelles colonies.

Les constructions madréporiques prennent parfois un immense développement, surtout dans les mers tropicales. Mais le corail de couleur vive, susceptible de prendre un beau poli, ne se rencontre guère que dans la Méditerranée. Sur les côtes de l'Algérie, où il est particulièrement abondant, la pêche s'en pratique généralement à la drague; cependant l'usage du scaphandre se répand de plus en plus; quand le précieux polypier n'est pas à une grande profondeur, de simples plongeurs sans appareil peuvent aller l'arracher au sol sur lequel il repose.

Il y a plus de trois siècles, des négociants de Marseille avaient obtenu, moyennant redevances, le privilège exclusif de la pêche du corail sur le littoral des régences de Tunis, d'Alger et du Maroc; plusieurs compagnies françaises se créèrent successivement pour cette exploitation, dont les produits alimentaient à Marseille une industrie florissante, celle de la fabrication des bijoux de corail. A la fin du XVIII^e^ siècle, la *Compagnie royale d'Afrique* fut supprimée par le Gouvernement révolutionnaire : l'industrie phocéenne émigra en Italie et se fixa à Gênes, à Livourne, à Naples où elle s'est maintenue jusqu'à présent; les navires français cédaient en même temps la place aux coralliers génois, toscans, napolitains, qui, pour prévenir la destruction prématurée des bancs, en réglèrent la coupe par périodes décennales, comme on règle l'exploitation des forêts. Depuis, les gouvernements qui se sont succédé en France ont presque tous tenté le relèvement de la pêche nationale, mais sans arriver à reprendre l'avantage sur l'Italie.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

C'est aussi dans la Méditerranée, sur les côtes de Syrie et de Tripolitaine, et dans l'Archipel, que sont pêchées les plus belles qualités d'*éponges*. Des plongeurs les ramassent à la main; on les cueille aussi à l'aide de tridents à long manche; on les dragues au moyen de filets qui raclent le fond de la mer, procédé fort nuisible à la conservation des bancs. La mer des Antilles fournit également des éponges estimées.

On évalue à 10 ou 12 millions le mouvement d'affaires auquel donne lieu le commerce des éponges. La production ne suffisant pas aux besoins de la consommation, des essais de culture ont été entrepris sur divers points, particulièrement en Floride; jusqu'ici ces tentatives n'ont pas eu de résultats bien satisfaisants.

L'emploi de la *nacre* aux productions artistiques est très ancien. Dès l'antiquité, la pêche des huîtres nacrées se faisait dans le golfe Persique et dans les parages de Ceylan. A ces pêcheries se sont ajoutées depuis celles des mers du Sud, de l'Amérique méridionale, de l'Australie, du Japon, de l'archipel Indien.

Un grand nombre d'industries, telles que la bijouterie, la tabletterie, la marqueterie, la coutellerie, se servent de la nacre. Son principal débouché est la fabrication des boutons, qui en consomme annuellement 12 millions de kilogrammes environ, tant en Autriche qu'en France et en Angleterre.

Le travail de cette matière, très pénible à cause de sa dureté, très dangereux pour les ouvriers qui respirent la poussière fine provenant du sciage et de la gravure, a été récemment facilité par l'adoption d'un outillage mécanique; des progrès très sensibles ont pu être réalisés, notamment en Autriche, dans la structure et l'appropriation de cet outillage.

Quelques coquilles nacrées cachent sous le manteau du mollusque un joyau précieux et rare, la *perle*, dont la grosseur atteint parfois celle d'un œuf de pigeon. Les plus belles perles sont pêchées par les plongeurs aux abords de l'île de Ceylan : ces pêcheries étaient connues dès les temps les plus reculés par les Hindous, qui ont marié à l'his-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

toire de la perle toutes sortes de gracieuses légendes. De jolies perles se recueillent aussi à Java, à Sumatra, sur les bancs nouvellement découverts de l'archipel Taïtien; les côtes et les fleuves des États-Unis donnent des perles communes, dont la bijouterie américaine fait une large consommation.

Jamais peut-être les perles n'ont été si haut prisées que dans l'antiquité. Les Phéniciens, qui les tenaient de l'Asie, en introduisirent la mode chez les Grecs. Plus tard, les Romains adaptèrent les perles aux bijoux de leurs femmes, et l'on vit des matrones porter aux oreilles toute la fortune de leur maison. Le plus fol exemple de prodigalité que nous ait transmis l'histoire est peut-être celui de Cléopâtre; cependant le luxe de la célèbre souveraine égyptienne fut certainement dépassé à Byzance. Dans les temps modernes, la cour de Versailles a été atteinte de la manie des perles, comme jadis la Rome des Césars.

De nos jours, l'avilissement relatif du diamant, à la suite de la découverte des mines du Cap, a eu pour effet d'accroître la valeur des perles; quelques années ont suffi pour en doubler le prix.

On s'est préoccupé à juste titre de l'appauvrissement des bancs d'huîtres perlières. La sagesse commanderait de reconstituer les bancs détruits et de protéger les bancs existants par une réglementation prévoyante, qui empêcherait la pêche de l'huître avant son entier développement.

La tortue caret, dont la carapace fournit la véritable *écaille*, se rencontre dans les mers de Chine, dans l'océan Indien et sur les côtes d'Amérique. On s'empare du caret, soit sur les plages quand il sort de l'eau pour effectuer sa ponte, soit en pleine mer, où on le pêche, tantôt à l'aide du harpon, tantôt au moyen de grands filets traînants. L'écaille se ramollit assez dans l'eau bouillante pour se souder à elle-même et prendre toutes les formes que l'ouvrier veut lui imprimer; cette propriété permet d'en faire des plaques de grandes dimensions, d'utiliser les déchets et de modeler la matière.

Chaque jour, les usages de l'écaille tendent à se multiplier; la France et l'Angleterre en consomment beaucoup. Son prix élevé devait

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fatalement provoquer de nombreuses contrefaçons. On l'imite assez bien avec la corne, le caoutchouc durci et le celluloïd; la belle écaille blonde garde néanmoins son incomparable supériorité.

Depuis 1827, les principaux mouvements du commerce extérieur de la France ont été les suivants:

PÉRIODES OU ANNÉES.	FANONS DE BALEINE.		GRAISSES DE POISSON.		ÉPONGES.	
	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.
	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
1827 à 1830.... (Moyenne.)	830,000	1,000	2,010,000	42,000	383,000	28,000
1831 à 1840.... (*Idem.*)	1,340,000	6,600	3,730,000	65,000	600,000	41,000
1841 à 1850.... (*Idem.*)	1,340,000	17,000	3,910,000	148,000	780,000	67,000
1851 à 1860.... (*Idem.*)	2,120,000	42,000	4,600,000	176,000	1,290,000	364,000
1861 à 1870.... (*Idem.*)	1,510,000	263,000	4,830,000	288,000	2,360,000	660,000
1871 à 1880.... (*Idem.*)	990,000	368,000	4,500,000	253,000	3,440,000	1,870,000
1881.....	1,020,000	510,000	4,390,000	194,000	4,430,000	3,130,000
1882.....	1,350,000	1,100,000	4,050,000	201,000	5,170,000	2,310,000
1883.....	2,320,000	1,090,000	4,330,000	316,000	5,250,000	6,560,000
1884.....	1,870,000	1,470,000	4,330,000	254,000	5,570,000	2,270,000
1885.....	2,310,000	580,000	5,650,000	305,000	6,130,000	1,910,000
1886.....	1,900,000	500,000	3,670,000	182,000	5,420,000	2,130,000
1887.....	1,830,000	1,200,000	3,520,000	229,000	5,990,000	1,860,000
1888.....	2,600,000	235,000	2,820,000	215,000	5,630,000	1,690,000
1889.....	1,890,000	462,000	3,070,000	183,000	5,090,000	1,600,000

PÉRIODES OU ANNÉES.	NACRE.		PERLES FINES.		ÉCAILLES DE TORTUE.	
	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.
	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
1827 à 1830.... (Moyenne.)	272,000	//	1,020,000	620,000	530,000	35,000
1831 à 1840.... (*Idem.*)	620,000	//	1,380,000	620,000	472,000	44,000
1841 à 1850.... (*Idem.*)	980,000	5,200	1,380,000	860,000	455,000	15,000
1851 à 1860.... (*Idem.*)	1,030,000	52,000	1,390,000	1,300,000	970,000	45,000
1861 à 1870.... (*Idem.*)	1,420,000	106,000	1,460,000	1,080,000	1,220,000	700,000
1871 à 1880.... (*Idem.*)	5,050,000	245,000	2,080,000	1,630,000	2,550,000	290,000
1881.....	6,880,000	445,000	1,880,000	138,000	2,380,000	198,000
1882.....	6,590,000	580,000	930,000	490,000	1,310,000	101,000
1883.....	6,190,000	490,000	800,000	75,000	1,640,000	107,000
1884.....	4,380,000	310,000	109,000	26,000	1,390,000	240,000
1885.....	5,370,000	310,000	158,000	359,000	1,020,000	106,000
1886.....	6,200,000	830,000	151,000	38,000	1,200,000	139,000
1887.....	5,570,000	740,000	81,000	250,000	1,300,000	153,000
1888.....	7,350,000	470,000	1,880,000	267,000	1,620,000	163,000
1889.....	8,090,000	650,000	1,290,000	217,000	1,420,000	150,000

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les provenances d'importation sont, pour les fanons de baleine, les États-Unis et l'Angleterre; pour les graisses de poisson, les États-Unis, l'Angleterre, la Norvège, Saint-Pierre, les Pays-Bas, le Japon; pour les éponges, les possessions espagnoles d'Amérique, la Tunisie, l'Angleterre, les États-Unis, la Grèce; pour la nacre, l'Angleterre, l'Australie, les Indes anglaises, le Japon; pour les perles fines, l'Angleterre et l'Allemagne; pour les écailles de tortue, l'Angleterre et les Indes anglaises.

Nous envoyons des fanons de baleine en Allemagne, en Espagne, en Suisse, en Autriche; des éponges en Belgique, en Espagne, en Allemagne, en Algérie, en Angleterre; de la nacre en Allemagne; des perles en Italie, en Espagne, au Mexique et au Pérou.

4. Produits des cueillettes. — En dehors des matières qui constituent essentiellement les produits des exploitations forestières, comme le bois et le liège, l'homme trouve dans les végétaux non cultivés une mine pour ainsi dire inépuisable de substances utiles à l'industrie, aux arts, à la médecine, et n'a que la peine de les recueillir, sans avoir aidé par son travail à leur production. L'écorce, la racine, les feuilles, la sève d'une foule d'arbres, d'arbustes ou de plantes lui apportent de précieuses ressources, dont la nature se montre chaque jour plus prodigue.

Parmi les divers produits d'exsudation, l'un des plus importants au point de vue commercial est le *caoutchouc,* qui se prête à des usages d'une extrême variété. J'en ai déjà relaté (tome V, page 590) les applications aux tissus imperméables, et j'ai dû, à cette occasion, rappeler les conditions dans lesquelles il avait été découvert et importé en Europe, ainsi que les progrès successivement réalisés dans son emploi.

Torquemada, auteur d'un ouvrage sur le Mexique, signala pour la première fois en 1615 l'utilisation du caoutchouc par les indigènes du nouveau monde. En 1736, à son retour du Pérou, La Condamine compléta les indications encore très imparfaites que possédait l'Europe sur les origines, la nature et les propriétés de cette substance.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Néanmoins le caoutchouc n'a véritablement conquis son droit de cité sur notre continent qu'après la découverte de la vulcanisation, qui, en le combinant au soufre, fait disparaître ou du moins atténue sa facile altérabilité sous l'influence de la chaleur.

Le caoutchouc est contenu dans le suc laiteux de divers végétaux (et particulièrement du *Siphonia cahuchu* ou *Hevea guyanensis*), qui se rencontrent dans la zone voisine de l'équateur, entre le 25e degré de latitude Nord et le 25e degré de latitude Sud. Il se récolte au Brésil, au Mexique, dans la Bolivie, au Pérou, au Guatémala, au Nicaragua, en Colombie, au Salvador, dans la République de l'Équateur, au Gabon-Congo, au Sénégal, dans les colonies portugaises de l'Afrique, à Mozambique, à Madagascar, à la Réunion, etc. A lui seul, le bassin de l'Amazone fournit 15,500 tonnes, représentant une valeur de 108 millions et demi, c'est-à-dire autant que tous les autres pays ensemble : on évalue en effet la récolte totale à 30 millions de kilogrammes. Sur ce total, 12 millions de kilogrammes, provenant de l'Amérique centrale, sont consommés aux États-Unis; l'Angleterre importe pareille quantité, notamment du Gabon et du Congo; quant à la France, elle reçoit à peine 1 million de kilogrammes, pris pour moitié au Brésil et en Bolivie, et pour le surplus à Madagascar, au Pérou, au Sénégal, à Mozambique, dans la Colombie et la République de l'Équateur. De nos colonies, c'est le Sénégal qui a l'exportation la plus régulière : cette exportation dépasse annuellement 700,000 kilogrammes.

On distingue dans le bassin de l'Amazone trois qualités de caoutchouc, le para fin, l'entrefin et le sernamby. Les procédés d'extraction sont demeurés des plus primitifs : ils consistent à pratiquer des incisions sur l'écorce et à recueillir la sève laiteuse, soit dans de petits récipients, soit dans des trous pratiqués en terre, puis à provoquer la coagulation par un feu de bois vert; malgré les mesures protectrices prises par le Gouvernement brésilien, quelques *seringueiros* (récolteurs) vont jusqu'à abattre les arbres, pour en extraire tout le suc.

Divers essais d'acclimatation ont été entrepris par les Anglais à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ceylan et dans l'Hindoustan, puis par les Hollandais dans leurs riches colonies de l'Extrême-Orient. Nous pourrions sans doute réussir dans la même voie en Cochinchine et au Tonkin. L'accaparement des marchés du Para et la crise très grave qui en est résultée depuis 1878 montrent l'intérêt considérable qu'il y aurait à répandre les forêts d'arbres à caoutchouc.

La *gutta-percha* offre beaucoup d'analogie avec le caoutchouc, dont elle n'a point toutefois l'élasticité. Sa propriété distinctive est de devenir très malléable vers 50 degrés centigrades et de reprendre sa dureté primitive au refroidissement.

C'est en 1843 que l'attention des industriels anglais a été appelée sur la gutta-percha par le docteur Montgomery, qui l'avait vu employer à Singapore. On l'obtient en incisant certains arbres de haute taille fort nombreux en Chine et dans les îles de la Malaisie, et connus sous le nom d'*Isonandra gutta;* pendant longtemps, les indigènes ont recouru exclusivement à un procédé beaucoup plus barbare, qui consistait à abattre l'arbre pour en retirer la sève, et l'on a pu craindre que cette méthode destructive ne tarît bientôt toutes les sources de la matière première.

Au début, il y a eu un véritable enthousiasme pour la gutta-percha : dès l'année 1848, l'Angleterre en consommait à elle seule 30 millions de livres, qu'elle utilisait dans la confection des vêtements imperméables, des chaussures, des tuyaux, des courroies, etc. Mais l'excessive malléabilité de cette substance, sous l'action d'une température relativement peu élevée, ne tarda point à dissiper les illusions. Heureusement le pouvoir isolateur de la gutta-percha lui a ouvert un immense débouché, pour la construction des câbles sous-marins et des fils électriques souterrains : à cet égard, elle doit être considérée comme l'une des conquêtes les plus importantes faites par l'industrie moderne.

Conformément à un vœu du Congrès des électriciens de 1881, l'Angleterre, la France et les Pays-Bas ont organisé des missions en vue de propager les arbres à gutta-percha. Diverses circonstances ont

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

empêché ces missions de produire jusqu'ici tous les résultats qu'on pouvait en attendre.

Plusieurs espèces d'arbres ou d'arbustes exsudent des *gommes* susceptibles de différentes applications, notamment la gomme d'Afrique (gomme arabique et similaires) produite au Sénégal et au Soudan par des acacias qui s'y étendent en forêts immenses, la gomme de nos arbres à fruit indigènes ou césarine, la gomme adragante fournie par les astragales d'Orient. Ces substances servent à la fabrication des couleurs, des cirages, de l'encre, de la colle, à la médecine, à la confiserie, à l'apprêt et au lustrage des étoffes, etc.

Nous importons par Bordeaux la gomme du Sénégal (4 millions de kilogrammes); la gomme arabique du Soudan arrive à Marseille par Tripoli et l'Égypte. Quant à la gomme adragante, elle nous vient surtout de Perse et de Turquie. L'Inde, le Brésil, le Cap, l'Australie envoient aussi en France des gommes plus ou moins appréciées.

A côté des gommes proprement dites se rangent les *gommes-résines*, telles que gomme-gutte, gommes copales, gommes laques, etc. Les copales, que l'on divise en copales dures, copales tendres, copales fusibles, sont tirées, suivant leur nature, soit des côtes d'Afrique, des Guyanes, de la Colombie, du Brésil, de Madagascar, de la Nouvelle-Calédonie, soit des Indes hollandaises, et sont employées à la fabrication des vernis pour bâtiments ou pour carrosserie, des papiers à décalquer, des allumettes-bougies, etc., ainsi qu'à des préparations pharmaceutiques. On utilise les gommes-laques des Indes anglaises pour les vernis, pour les cires à cacheter, pour la chapellerie, etc.

La *résine* est le seul produit d'exsudation des essences européennes qui ait une réelle importance industrielle. Fournie en grande quantité par les pins des Landes, elle constitue l'un des principaux revenus de ces nouvelles régions forestières. On en tire la térébenthine, la colophane, le brai sec, des vernis, des huiles et plusieurs autres substances. C'est toujours par des entailles pratiquées dans l'écorce que s'effectue

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'extraction : jadis la sève coulait simplement dans des excavations creusées au pied de l'arbre; maintenant elle arrive dans des vases adaptés à l'arbre, ce qui permet de l'obtenir plus abondante, plus pure et plus riche en essence.

Il est à peine utile de rappeler les usages de la *cire* animale, sécrétée par les abeilles : les fabricants de cierges, les pharmaciens, les préparateurs de pièces anatomiques, les modeleurs, enfin les modestes frotteurs des parquets de nos appartements en font un emploi considérable. Nos principaux centres de production sont la Bretagne, la Bourgogne, le Gâtinais.

Divers végétaux donnent des cires analogues, dont la plus renommée est la cire de Carnauba, recueillie en Guyane et au Brésil sur la feuille du palmier des Andes. Outre la cire, cet arbre précieux fournit par sa tige du bois de construction, par son feuillage des fibres textiles, par sa moelle de l'amidon, par ses bourgeons une huile excellente, par ses racines une sorte de salsepareille.

Beaucoup de plantes et d'arbres livrent à l'homme des fibres textiles. Le *palmier nain* et l'*alfa* d'Algérie, par exemple, plantes sans valeur pour l'Arabe, sont devenus, grâce à l'initiative de l'industrie européenne, des sources de richesse pour notre belle colonie africaine.

Des fibres du palmier nain, nuisible à l'agriculture par sa prodigieuse abondance, on tire aujourd'hui un crin végétal qui rivalise avec le crin animal commun dans la garniture des objets d'ameublement et de literie.

L'alfa est une graminée de steppe, occupant de vastes régions au Maroc, dans la péninsule ibérique, en Algérie, en Tunisie, en Tripolitaine. Son exploitation remonte à une haute antiquité, tout au moins en Espagne, comme le prouvent les témoignages de Varron, de Dioscoride et de Pline; les anciens l'employaient à la sparterie et à la corderie. De nos jours, on l'utilise aussi pour la fabrication des nattes, des balais, des chaussures, des tapis grossiers, des tentures,

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pour la vannerie, et par-dessus tout pour la préparation d'une pâte à papier excellente, qui est mise en œuvre, soit pure, soit mélangée à de la pâte de chiffon, de bois ou de paille. La papeterie a ouvert aux pays alfatiers des débouchés pour ainsi dire infinis; du reste le papier d'alfa, tout à la fois souple, soyeux, transparent et très résistant, mérite bien la vogue dont il jouit.

Vers 1870, l'Espagne exportait 90,000 tonnes d'alfa par an : son exportation est maintenant réduite à 45,000 tonnes. L'Algérie a commencé en 1863 ses expéditions vers l'Europe; en 1879, elle atteignait le chiffre de 110,000 tonnes; depuis, le mouvement s'est un peu ralenti, mais sans descendre au-dessous de 80,000 tonnes. On peut évaluer à 75,000 tonnes l'exportation de la Tripolitaine et à 15,000 tonnes celle de la Tunisie, qui tire en outre parti, sur place, d'une grande partie de sa récolte.

Les deux ports par lesquels l'Algérie expédie presque tous ses alfas sont Oran et Arzew; il résulte des tableaux officiels de l'Administration algérienne que les neuf dixièmes de la récolte vont en Angleterre.

Il existe une assez grande variété de plantes sans culture, fournissant de bonnes huiles végétales. Au premier rang se placent les *arachides,* originaires d'Amérique, mais prospérant aussi en Chine, au Japon, dans le midi de l'Europe, en Afrique et surtout au Sénégal, où elles sont l'objet d'un trafic important : les gousses d'arachide renferment une amande nutritive, que l'on mélange au cacao dans la fabrication du chocolat et d'où l'on extrait aussi une huile limpide et inodore.

Avec les arachides, les *sésames* de l'Asie méridionale, de l'Égypte, de la Gambie, de l'Italie, et les divers *palmistes,* alimentent en particulier la fabrique d'huiles et de savons de Marseille.

Toute une série de végétaux trouvent leur emploi dans la pharmacie et l'herboristerie. Au *quinquina* déjà cité page 78, il y a lieu d'ajouter le *coca* des Andes, dont les feuilles ont des propriétés exci-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tantes et toniques et qui donne lieu à une importation assez considérable, depuis la découverte de son alcaloïde, la cocaïne; la *salse pareille* du Brésil; la *rhubarbe* des Indes orientales; enfin des *simples* innombrables.

Afin de ne pas allonger outre mesure cette revue des produits de la cueillette, je ne veux plus dire qu'un mot de l'*ambre*. Le succin ou ambre jaune, qui se rencontre principalement dans les dunes sablonneuses de la mer Baltique et qui est employé par la bijouterie, ainsi que par la fabrique des vernis gras, paraît avoir été formé par la gomme résineuse d'un conifère fossile. L'ambre roumain, très estimé en Hongrie et en Orient, à cause de son apparence de cristal de roche et de la variété de ses tons, semble avoir aussi une origine végétale. Tout autre est l'ambre gris, qui sert dans la parfumerie et qui est constitué par une concrétion produite dans l'estomac du cachalot; il flotte souvent à la surface des mers de Madagascar, des Moluques et du Japon.

Le commerce extérieur de la France a donné lieu aux échanges suivants depuis 1827 [1]:

PÉRIODES OU ANNÉES.	CAOUTCHOUC ET GUTTA-PERCHA.		GOMMES PURES.		RÉSINES.		CIRE.	
	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.
	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
1827 à 1830.. (Moyenne.)	23,500	"	1,020,000	29,000	442,000	26,000	780,000	184,000
1831 à 1840.. (*Idem.*)	161,000	8,000	1,620,000	28,000	520,000	620,000	520,000	161,000
1841 à 1850.. (*Idem.*)	367,000	24,000	1,810,000	52,000	1,250,000	1,600,000	397,000	196,000
1851 à 1860.. (*Idem.*)	2,460,000	137,000	2,990,000	128,000	2,305,000	2,800,000	1,360,000	710,000
1861 à 1870.. (*Idem.*)	4,670,000	850,000	7,120,000	3,350,000	4,240,000	17,320,000	2,130,000	1,140,000
1871 à 1880.. (*Idem.*)	6,810,000	1,300,000	6,650,000	3,560,000	5,390,000	6,230,000	2,450,000	1,080,000
1881.....	13,620,000	3,440,000	6,050,000	3,080,000	6,200,000	5,870,000	2,190,000	620,000
1882.....	15,250,000	2,250,000	6,410,000	3,290,000	4,590,000	5,170,000	2,260,000	452,000
1883.....	15,610,000	4,110,000	5,600,000	4,740,000	4,370,000	5,590,000	2,410,000	409,000
1884.....	13,140,000	2,910,000	7,330,000	4,660,000	3,970,000	4,380,000	2,670,000	745,000
1885.....	8,540,000	2,420,000	12,220,000	10,160,000	3,620,000	4,230,000	3,010,000	840,000
1886.....	9,080,000	2,710,000	10,870,000	5,910,000	4,030,000	4,640,000	3,110,000	800,000
1887.....	13,850,000	3,020,000	13,680,000	7,000,000	4,010,000	6,250,000	2,590,000	1,160,000
1888.....	12,860,000	4,140,000	15,430,000	6,350,000	4,340,000	5,080,000	2,720,000	1,080,000
1889.....	12,070,000	5,050,000	13,970,000	5,710,000	3,570,000	6,090,000	2,430'000	1,470,000

[1] Pour les arachides, sésames, etc., voir le chapitre suivant.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

PÉRIODES OU ANNÉES.	ÉCORCES DE QUINQUINA.		LICHENS TINCTORIAUX.		TRUFFES.	
	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.
	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
1827 à 1830.. (Moyenne.)	1,180,000	33,000	85,000	33,000	"	121,000
1831 à 1840.. (*Idem.*)	1,290,000	15,000	136,000	16,000	"	163,000
1841 à 1850.. (*Idem.*)	1,310,000	38,000	497,000	6,000	"	312,000
1851 à 1860.. (*Idem.*)	2,000,000	115,000	1,290,000	24,000	27,000	470,000
1861 à 1870.. (*Idem.*)	3,930,000	600,000	1,600,000	86,000	208,000	1,790,000
1871 à 1880.. (*Idem.*)	7,390,000	2,060,000	1,700,000	21,000	449,000	6,450,000
1881.....	13,700,000	7,070,000	2,000,000	49,000	550,000	14,330,000
1882.....	14,550,000	4,960,000	1,580,000	15,000	212,000	4,900,000
1883.....	7,150,000	2,110,000	1,760,000	114,000	275,000	6,160,000
1884.....	5,150,000	1,860,000	1,740,000	225,000	215,000	5,180,000
1885.	2,150,000	670,000	1,190,000	66,000	310,000	3,270,000
1886.....	2,250,000	484,000	1,730,000	6,200	273,000	2,380,000
1887.....	1,890,000	305,000	1,000,000	12,200	158,000	2,680,000
1888.....	1,570,000	196,000	970,000	5,300	155,000	1,550,000
1889.....	1,410,000	228,000	850,000	17,000	120,000	2,470,000

Nous recevons le caoutchouc et la gutta-percha de l'Angleterre, du Brésil, des Indes anglaises, du Sénégal; les gommes du Sénégal, de l'Angleterre, de divers pays d'Afrique; les résines de l'Angleterre, des Indes anglaises, des Indes hollandaises; la cire du Maroc, des Indes anglaises, du Japon, de l'Algérie; les écorces de quinquina de l'Angleterre, des Pays-Bas, de l'Allemagne, du Pérou; les lichens tinctoriaux de l'Angleterre, de l'Allemagne; les truffes, de l'Italie.

La France envoie du caoutchouc et de la gutta-percha en Angleterre, aux États-Unis, en Belgique, en Allemagne; des gommes en Angleterre, en Autriche, en Italie, aux États-Unis, en Allemagne, etc.; des résines en Belgique, en Allemagne, en Angleterre, en Italie, en Espagne, dans les Pays-Bas; de la cire en Italie, en Belgique, en Russie, en Angleterre; des écorces de quinquina en Italie; des truffes en Angleterre, en Allemagne, en Belgique, aux États-Unis.

5. Observations générales sur l'Exposition de 1889. — L'Exposition universelle de 1889 a montré une fois de plus l'activité incessante que déploie le génie humain pour soumettre au joug de la culture les productions spontanées de la nature vivante. Presque chaque jour, de nouvelles espèces parmi les animaux et les végétaux utiles sont acclimatées dans nos régions européennes ou dans nos colonies

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'outre-mer, y sont domestiquées, y sont cultivées, de manière à produire mieux et plus régulièrement les matières premières indispensables à nos besoins. Naguère encore, l'arbre à quinquina ne se trouvait qu'à l'état sauvage dans les forêts de l'Amérique du Sud, où son existence même était menacée par une exploitation irraisonnée et imprévoyante : il a été transporté à Java, à Ceylan, en Australie, en Algérie, au Caucase. Ailleurs, c'est l'autruche qui, oubliant sa fierté native, s'est transformée en animal de basse-cour et se laisse exploiter pour sa plume comme le mouton pour sa laine. Si les productions marines, corail, éponges, huîtres perlières, ne sont pas à vrai dire dans le domaine de la culture, l'exploitation en a du moins été soumise à des règles scientifiques. La pisciculture repeuple, par la fécondation artificielle, nos cours d'eau et nos lacs devenus déserts; l'élevage de nos espèces indigènes et l'acclimatation des poissons exotiques font des progrès incessants. Partout la vie sauvage recule devant la vie civilisée et l'homme étend ses conquêtes.

Un fait économique important se dégage de l'étude des matières premières exposées au Champ de Mars : je veux parler de l'accroissement dans le nombre des produits importés directement par le commerce français. Si nous sommes encore tributaires des marchés étrangers, des lignes de navigation étrangères, si nous continuons notamment à passer dans bien des cas par les mains de l'Angleterre, nous n'en devons pas moins applaudir aux tentatives des négociants français pour s'affranchir de ce lourd tribut, pour se soustraire aux charges onéreuses qui grèvent l'industrie nationale au profit des pays intermédiaires. Dès aujourd'hui, les cornes de la Plata et de l'Inde, la nacre, les gommes du Sénégal, l'ivoire végétal, les arachides, sésames, palmistes et autres plantes oléagineuses d'Afrique, arrivent sans détour des centres de production dans nos ports; grâce à la protection de l'État, grâce aux vigoureux efforts de ces dix dernières années, la marine nationale a pu enlever aux marines étrangères le fret d'une partie de nos matières premières et de nos produits bruts ou manufacturés. Les pouvoirs publics auront à redoubler de vigilance pour soutenir l'initiative privée et encourager la création des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

lignes de navigation à service régulier; ils sauront régler notre régime douanier, de manière à assurer l'approvisionnement des industries en matières exotiques, sans compromettre les intérêts de l'agriculture française.

L'Exposition coloniale révélait de sérieux progrès dans l'esprit d'entreprise de nos nationaux. M. de Clermont cite en exemple, pour le Sénégal, la *Compagnie française de l'Afrique occidentale*, dont les comptoirs s'étendent sur 800 milles de côtes : cette société importait déjà en 1888 pour 7 millions et demi de francs d'arachides, de sésames, de palmistes, de gommes, de caoutchouc. D'autres maisons de Marseille et de Bordeaux sont également en relation directe avec des établissements fondés sur la côte occidentale d'Afrique. Nous avons un empire colonial, dont les limites se sont singulièrement élargies par la conquête de la Tunisie et de l'Annam-Tonkin, par la marche en avant de nos courageux soldats, de nos valeureux explorateurs, vers le centre du continent noir; il faut savoir en tirer parti, y encourager les colons, leur laisser une grande liberté d'allures, leur assurer la protection dont ils ont besoin, leur ménager tous les avantages compatibles avec le respect dû aux indigènes et aux étrangers; il faut, tout au moins en Afrique, aider, provoquer la formation des compagnies de colonisation, leur donner les coudées franches, substituer leur action hardie et entreprenante à l'action trop lente, trop administrative, trop peu commerciale de l'État. Nous verrons ainsi la métropole et les colonies multiplier leurs échanges de matières premières et de produits manufacturés, s'enrichir simultanément, tenir haut et ferme le drapeau français dans cette grande bataille pacifique que se livrent les nations européennes.

Un petit pays, en ce moment fort éprouvé, le Portugal, nous a donné de beaux exemples sur le sol africain; il y a déployé ses vieilles traditions colonisatrices; l'initiative privée, soutenue par la protection du Gouvernement, a créé des compagnies à charte, des sociétés de navigation dont les navires à faible vitesse transportent économiquement les produits naturels de la côte africaine. L'Allemagne est entrée résolument dont la même voie. Quant à l'Angleterre, on sait avec

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

quelle habileté, avec quel art, son domaine colonial est exploité. La France ne doit pas rester en arrière.

Il est enfin un autre fait capital que l'Exposition universelle de 1889 mettait bien en lumière. Tous ceux qui ont visité le Champ de Mars se sont rendu compte de l'essor pris par les Républiques de l'Amérique du Sud, de la somme inouïe d'efforts qu'elles ont dépensée pour apparaître sous le jour le plus brillant. Elles étalaient leurs nombreuses richesses naturelles : pelleteries, crins, cornes, écailles, caoutchouc, quinquina, gommes, résines; elles nous révélaient d'immenses ressources pour l'alimentation de nos industries, en même temps que de vastes débouchés pour nos produits fabriqués. On sait toute l'affinité de goûts qui existe entre ces populations de race latine et la population française : il importe seulement de ne pas nous laisser prévenir par les États-Unis, qui cherchent déjà à s'assurer le monopole des marchés du nouveau monde.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE IV.

PRODUITS AGRICOLES NON ALIMENTAIRES [1].

1. Coton. — Dans les divers chapitres consacrés aux fils et tissus (tome V), j'ai dû nécessairement donner quelques indications sur les textiles, matière première de ces fils et de ces tissus. Il me faut y revenir ici avec un peu plus de détails.

Le coton a fait son entrée dans le monde... des fileurs et tisseurs beaucoup plus tard que la laine et la soie. Cela ne l'a pas empêché de grandir au point de dépasser ses aînés. Aucun produit naturel ne donne lieu à un mouvement d'affaires plus actif; peu d'industries offrent l'exemple d'un développement aussi prodigieux que celui de l'industrie cotonnière. L'essor pris depuis un siècle par le travail du coton a constitué, pour les pays manufacturiers, une source abondante de richesse et de prospérité; mais, en revanche, il y a provoqué à certaines heures des crises redoutables.

On sait que le coton provient d'un arbuste croissant surtout dans les climats chauds et humides, et dont le fruit, lors de sa maturité, s'entr'ouvre pour laisser échapper des graines entourées d'un duvet soyeux. Les 300 ou 400 variétés de cotonniers se ramènent à deux types distincts : d'une part, celles qui produisent le coton « courte « soie » ou coton de la Louisiane et qui forment les trois quarts de la récolte totale; d'autre part, celles qui produisent le coton « longue « soie » ou coton de la Géorgie. Autour de ces deux types principaux viennent se ranger toutes les variétés natives ou croisées des différentes régions productrices : la valeur du coton qui en est extrait dépend non seulement de la longueur, du soyeux et de la finesse des

[1] Pour les cocons de soie, voir les deux chapitres consacrés l'un aux soies et tissus de soie, l'autre aux insectes utiles.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fibres, mais aussi du soin apporté à la récolte ainsi qu'à la séparation du duvet et de la graine.

Il semble que la laine du cotonnier ait été tout spécialement créée en vue d'une destination industrielle : fine, longue, élastique, généralement très pure, présentant une extrême affinité pour les substances tinctoriales, elle possède à un haut degré l'ensemble des qualités propres à la fabrication des fils et des tissus. Les filaments du coton sont les seuls filaments textiles qui ne soient intimement unis à des corps étrangers, dont il faille les débarrasser avant la filature et le tissage, et qui n'imposent à ce point de vue des manipulations complexes et coûteuses. A la vérité, les fibres du lin, du chanvre, du jute, où les cellules végétales élémentaires se trouvent soudées par une matière agglutinante, ont plus de longueur et de résistance que les fibres en cellulose pure du coton; mais elles ne comportent ni autant d'homogénéité, ni autant de flexibilité et d'élasticité. Or c'est précisément ce faisceau de propriétés qui se prête à l'infinie diversité des produits et fait la puissance de l'industrie cotonnière : livrée en masse à la première machine d'un assortiment de filature, puis envoyée dans une série de métiers convenablement réglés et agencés, la matière sort docilement en l'état que la volonté de l'homme lui a assigné par avance; il n'est pour ainsi dire pas une nécessité climatérique, une situation de fortune, un besoin ayant trait au vêtement, qu'elle ne soit en mesure de satisfaire.

Malgré ses qualités remarquables, malgré la facilité d'emploi de ses fibres sans épuration préalable, le duvet du cotonnier n'a été longtemps que le produit accessoire d'une plante d'agrément; les anciens ne l'ont utilisé qu'après le chanvre et le lin. La Bible est peu explicite relativement à l'usage du coton chez les Hébreux. Mais Hérodote le cite comme servant à faire les bandelettes dont les Égyptiens enveloppaient leurs morts; d'un autre côté, il mentionne dans l'Inde « des arbres sauvages portant pour feuilles une espèce de « laine plus belle et meilleure que celle des brebis », et ajoute « que « les Indiens s'habillaient avec la laine recueillie sur ces arbres ».

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Des Indes l'industrie du coton se répandit vers l'Occident à la suite des guerres d'Alexandre. Toutefois elle ne prit sérieusement pied ni en Grèce, ni à Rome. En tout cas, les Grecs et les Romains s'abstinrent de tenter l'acclimatation du cotonnier.

Plus tard, ce furent encore des Orientaux, les Sarrasins, conquérants de l'Espagne, qui, aux IX^e^ et X^e^ siècles, propagèrent l'usage des cotonnades dans les pays occidentaux voisins de la Méditerranée. Le reste de l'Europe connut les tissus de coton, notamment les indiennes, après les Croisades, dont l'insuccès final eut du moins pour contrepartie une réelle et heureuse influence sur le progrès des arts, de l'industrie et du commerce. De cette époque datent en France les premiers vêtements de coton, signalés alors comme des objets précieux, tandis qu'au dire de Marco Polo et de ses rares émules européens qui s'aventuraient en Asie, les cotonnades étaient déjà fort communes dans tout l'Orient. Venise, ville presque orientale, mise par sa marine en rapport direct avec les régions situées à l'est et au sud de la Méditerranée, paraît avoir entrepris le tissage des étoffes de coton dès les premières années du XIII^e^ siècle; vers la même époque, le *Livre des métiers* d'Étienne Boileau mentionnait à Paris la corporation des chapeliers ou bonnetiers en coton. Toutefois les tissus étaient probablement fabriqués à l'aide de fils étrangers, et l'Europe devait à peine connaître le coton en laine.

Ainsi que je l'ai indiqué, tome V, page 268, des manufactures commencèrent à surgir sur divers points de la France, au XIV^e^ siècle, et bientôt après les Génois importèrent la matière première elle-même dans le nord de l'Europe; cependant cette importation ne représentait sans aucun doute qu'un mouvement d'ordre tout à fait secondaire : en effet, si l'on en croit la légende, les quelques balles ramenées par Christophe Colomb furent presque traitées en objets de curiosité. La cherté des cotonnades resta d'ailleurs excessive, jusqu'à ce que la découverte du Cap de Bonne-Espérance eût ouvert la route maritime des Indes.

Ce qui prouve combien furent lents chez nous les progrès de l'industrie cotonnière, c'est qu'au XVII^e^ siècle, il n'est pas même fait

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mention des cotonnades dans une requête adressée à Louis XIV par les marchands et manufacturiers de France contre l'introduction des soieries, draps et toiles de l'étranger. Sous le ministère de Colbert, le travail du coton acquit une certaine importance. En 1664, la matière première, soit en laine, soit en graine, fut frappée d'un droit de douane de 3 livres, le cent pesant. Malgré cette taxe, encore surélevée par la suite, nous recevions au milieu du XVIII^e^ siècle plus de 2,000 balles, chaque année, tant en filaments qu'en filés. Vers 1750, il entrait à Marseille 30 espèces au moins de coton du Levant : Alexandrie fournissait 4 qualités différentes, Smyrne 9, Saïda 11, Alep 5, Chypre 3. Les Antilles n'envoyaient que de petites quantités de coton fin.

En Angleterre, l'industrie du coton ne progressa pas beaucoup plus vite qu'en France. D'après Macaulay, « cette industrie était encore « dans son enfance en 1685, sous Charles II, bien que, depuis un « demi-siècle, le coton fût apporté à Manchester de Chypre et de « Smyrne; à la fin du XVII^e^ siècle, la somme totale des importations « annuelles ne s'élevait pas à plus de 2 millions de livres sterling, « chiffre insuffisant pour la demande de quarante-huit heures au milieu « du XIX^e^ siècle ». D'autres documents évaluent à 900,000 kilogrammes le poids du coton filé à Manchester en 1678.

Le grand développement de l'industrie cotonnière date surtout de la substitution du travail mécanique au travail manuel dans la filature. Inaugurée en Angleterre, cette substitution ne tarda pas à s'étendre en France, où les manufacturiers d'Amiens introduisirent, vers 1775, la première machine à filer le coton. Aussitôt la voie ouverte, l'essor fut rapide, si rapide que partout en Europe une opposition violente se manifesta au nom des intérêts de la culture du chanvre ou du lin, de l'élevage du mouton, de l'éducation du ver à soie. Mais les digues étaient rompues, et le torrent devait tout balayer sur son passage. En 1790, la France transformait dans ses manufactures 4 millions de kilogrammes de coton, et l'Angleterre 12 millions.

Depuis lors, les perfectionnements apportés à la filature et au

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tissage ont accru la consommation dans des proportions inouïes : aujourd'hui le coton est une matière première aussi essentielle à l'industrie des peuples civilisés que le blé et la viande le sont à leur alimentation.

Jusque vers la fin du siècle dernier, les Indes orientales, l'Asie Mineure et l'Égypte ont presque seules approvisionné le marché européen. Puis il a fallu aller chercher dans le nouveau monde, pays des plus belles espèces de cotonnier, les ressources nécessaires pour faire face aux demandes sans cesse croissantes de l'industrie. Les premières traces des envois de l'Amérique remontent à 1747-1748 : elles ont trait à l'expédition de 7 balles. Une seconde expédition (1770) ne s'élevait qu'à 1,000 kilogrammes; la troisième (1784) était de 14,000 kilogrammes : elle éveilla des doutes dans l'esprit des Anglais, qui ne considéraient pas l'Amérique comme capable de fournir une telle quantité de coton.

En 1793 se place un fait important dans l'histoire de la culture du coton aux États-Unis, le remplacement de l'égrenage à la main par l'égrenage à la machine, grâce à l'invention du *saw gin* par Elias Whitney. Auparavant un esclave pouvait à peine égrener 400 à 500 grammes de duvet par jour; la machine permit à un homme, aidé d'un enfant, de soumettre à l'égrenage 800 à 1,000 kilogrammes de coton en dix heures. Sous l'influence de cette découverte, les cotons des États-Unis vinrent progressivement remplacer ceux de l'Inde et du Levant sur le marché anglais. A partir de 1791, les Américains ont avancé d'un pas rapide dans le développement de la culture du coton, ainsi que l'atteste la statistique suivante de leur exportation.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ANNÉES.	EXPORTATION.
	kilogrammes.
1791	94,660
1793	243,800
1794	800,380
1795	3,133,150
1800	8,844,910
1810	46,680,730
1820	62,446,200
1830	138,439,840
1840	265,102,550
1850	363,663,545
1857	400,000,000
1859	550,000,000

La consommation suivait une progression continue. Vers 1825, l'Europe manufacturait déjà 140 millions de kilogrammes de matière première. En 1851, ce chiffre était passé à 449 millions, dont 277 pour l'Angteterre, 64 pour la France, 31 pour la Russie, 30 pour l'Autriche, 18 pour le Zollverein, 10 pour l'Espagne, 10 pour la Belgique, 9 pour la Suisse. Quant aux États-Unis, qui en 1840 ne manufacturaient guère plus de 41 millions de kilogrammes, ils étaient arrivés à 110 millions de kilogrammes en 1851, ce qui ne les empêchait pas de fournir 360 millions de kilogrammes à l'industrie européenne.

Dix ans plus tard, en 1861, le poids de coton manufacturé en Europe avait presque doublé : il atteignait 850 millions de kilogrammes, sur lesquels 716 millions, c'est-à-dire plus des 8/10, venaient des États-Unis. Les Indes entraient dans l'approvisionnement européen pour 92 millions de kilogrammes, l'Égypte pour 27 millions, le Brésil et les Indes occidentales pour 10 millions; les autres pays, Naples, l'Algérie, l'Asie Mineure, l'Afrique occidentale, le Mexique, fournissaient 5 millions de kilogrammes.

Ainsi l'ancien monde était devenu tributaire du nouveau pour l'alimentation de l'une de ses principales industries. On commençait seulement à se préoccuper du danger de laisser sous la dépendance d'un seul pays l'existence de tant d'ouvriers, la fortune de tant de villes, quand la guerre de Sécession vint subitement arrêter l'essor de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la production américaine : la récolte des États-Unis tombait de 4 millions de balles à 500,000 en 1863-1864 et à 300,000 en 1864-1865.

Les nations européennes se trouvaient toutes atteintes par ce coup imprévu. Mais aucune ne l'était autant que l'Angleterre, qui, en 1860, absorbait plus des 4/5 de la consommation de l'Europe, soit 560 millions de kilogrammes (sur lesquels 425 millions venant des États-Unis), et où l'existence de 2 millions d'hommes dépendait de l'industrie et du commerce du coton. La source principale à laquelle s'alimentaient nos manufactures étant inopinément tarie, il fallut rechercher sans retard de nouvelles sources d'approvisionnement, tenter le développement de la culture partout où elle pouvait s'opérer dans de bonnes conditions. Quelque pressant que fût le besoin, les difficultés de cette culture, les tâtonnements du début, les hésitations de la première heure, ne permirent pas de combler l'énorme déficit survenu dans les expéditions du nouveau monde. On vit le prix du coton monter au point d'atteindre, en octobre 1863, une valeur plus que quadruple de sa valeur normale, « transformant « presque en tissus de luxe le calicot et l'indienne à l'usage de la « classe ouvrière, intervertissant les rôles en faisant de Liverpool « un marché d'approvisionnement pour les filatures américaines, qua- « druplant les fonds de roulement, bouleversant les prix de revient, « absorbant chez les plus privilégiés toutes les ressources disponibles « pour aboutir au chômage partiel ou complet de milliers d'établisse- « ments industriels[1] ».

Plus que tout autre pays, l'Angleterre devait faire des efforts surhumains pour sauver ses industriels de la ruine. Aussi la culture aux Indes reçut-elle de la métropole une vigoureuse impulsion : de 700,000 balles en 1860, leur exportation s'éleva à 1,992,000 balles en 1866, apportant le secours le plus effectif à l'Europe en détresse. D'ailleurs le renchérissement de la matière première constituait un stimulant énergique pour les régions favorisées par le sol et le climat,

[1] Rapport du jury de l'Exposition de 1867.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

aussi bien pour celles qui, sans posséder la culture du coton, pouvaient l'entreprendre avec quelque chance de succès, que pour celles qui en étaient déjà dotées.

La production de l'Égypte doubla de 1860 à 1865; celle du Brésil quadrupla. D'autre part, les pays du Levant, l'Italie, l'Espagne, Malte, l'Algérie, les Indes occidentales, les Guyanes, le Pérou, qui, avant la crise, ne cultivaient pas régulièrement le coton et n'envoyaient à l'Europe qu'un contingent variable suivant les cours, mais toujours très limité, donnèrent à leur culture une importance jusqu'alors inconnue; leurs envois, qui avant 1860 ne dépassaient guère 100,000 balles, atteignirent 368,000 balles en 1866-1867. Le nombre des provenances concourant à former ce total n'était pas de moins de 171 : le Levant (Turquie, Grèce, Malte, Perse) se plaçait en tête avec 163,000 balles; puis venaient les Antilles et l'Amérique centrale avec 107,000 balles, le Pérou avec 67,000 balles, l'Italie avec 8,000 balles, l'Algérie avec 4,000 balles. Mis eux-mêmes à contribution, le Japon et la Chine fournirent 19,000 balles en 1867.

Nous avons vu précédemment que la consommation européenne pouvait être évaluée à 850 millions de kilogrammes en 1860-1861. Après une chute de 60 p. 100 en 1861-1862 et 1862-1863, elle remonta à 695 millions de kilogrammes en 1866-1867, ne présentant plus qu'une diminution de 18 p. 100 par rapport à la campagne 1860-1861 et accusant un retour marqué vers la situation normale.

Voici du reste comment se sont répartis les envois des diverses provenances pendant cette période critique :

PROVENANCES.	1861-1862.	1862-1863.	1866-1867.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.
États-Unis	107,900,000	25,500,000	309,600,000
Indes orientales	187,500,000	251,800,000	266,600,000
Égypte	32,000,000	44,200,000	47,700,000
Brésil	10,000,000	13,100,000	35,500,000
Autres pays	5,000,000	14,600,000	35,600,000
TOTAUX	342,400,000	349,200,000	695,000,000

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Dès 1871, les importations avaient regagné le terrain perdu et même dépassé sensiblement leur niveau de 1861; comme il ressort du tableau suivant, les États-Unis se retrouvaient de beaucoup au premier rang des pays producteurs :

PROVENANCES.	IMPORTATION EN EUROPE.
	kilogrammes.
États-Unis	720,000,000
Indes orientales	270,000,000
Égypte	120,000,000
Brésil et Amérique du Sud	36,000,000
Indes occidentales, Guyanes	7,000,000
Sicile, Malte, Turquie, etc.	20,000,000
Algérie	3,600,000
TOTAL	1,176,600,000

Aujourd'hui la consommation européenne réunie à celle des États-Unis et des Indes est de plus de 2 milliards de kilogrammes, sur lesquels les États-Unis fournissent plus d'un milliard et demi [1]. Ainsi les gigantesques efforts faits durant la crise pour développer la culture du cotonnier n'ont pas en définitive modifié bien profondément l'ancien état de choses, et l'Amérique conserve sa situation prédominante sur le marché des cotons.

Cette suprématie repose, on doit le reconnaître, sur des avantages naturels, qu'aucune autre région civilisée ne possède à un si haut degré. Les *États-Unis* du Sud et du Sud-Est, notamment, offrent un climat des plus favorables à la culture cotonnière; la chaleur s'y allie à l'humidité; les terres sont d'excellente qualité; un réseau très complet de voies de communication permet le transport économique de la récolte aux ports d'embarquement. De sérieux perfectionnements agricoles réalisés après l'abolition de l'esclavage, l'emploi de travailleurs blancs dans les plantations, l'usage plus fréquent des engrais et

[1] Voir, pour la consommation des divers pays, tome V, page 288.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des machines pour préparer la terre, ont très sensiblement accru le rendement moyen à l'hectare; en 1878, la production dépassait celle de 1860, bien que la surface cultivée fût moindre. A l'époque de la dernière Exposition, la récolte était estimée à 9 millions de balles de 400 livres, et cependant l'Amérique du Nord est loin d'avoir dit son dernier mot : des espaces considérables, merveilleusement appropriés à la culture du coton, attendent encore la charrue de défrichement au Texas et dans les États avoisinants. Les plantations de cotonniers, de même que les autres cultures importantes des États-Unis, se répandent de plus en plus vers l'Ouest : en 1849, le huitième seulement des cotons récoltés venait de l'ouest du Mississipi; en 1878, la proportion était des 3/8 : aujourd'hui elle est de plus de moitié et le Texas tient le premier rang parmi les États producteurs de coton.

En même temps que la puissance productrice de l'Amérique, sa puissance manufacturière suit une progression rapide. La quantité de coton transformée aux États-Unis est montée de 110 millions de kilogrammes en 1851 à 202 millions en 1870 et à 487 millions en 1887.

L'énorme accroissement qui s'était manifesté dans la production des Indes et de l'Égypte, lors de la guerre de Sécession, n'a pu se continuer quand les circonstances ont permis aux États-Unis de rentrer en lice. Cependant l'effet déterminé par l'élévation temporaire des cours et par les encouragements de toute nature prodigués à la culture du coton ne s'est pas complètement effacé, et le total des exportations de ces deux pays reste bien au-dessus du chiffre qu'il atteignait avant les événements de 1861.

Après les États-Unis, les *Indes* viennent en tête des pays producteurs; la culture y a fait des progrès considérables. Le coton indien dit *surate,* du nom de son port habituel d'embarquement, n'avait pu, jusqu'en 1860, engager une concurrence efficace contre le coton américain, parce qu'il était de qualité trop inférieure pour être employé dans les filés de grande consommation. Il s'est amélioré

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

au moment de la crise et a sauvé les manufactures européennes d'un chômage complet. L'importation, évaluée à 700,000 balles de 380 livres, en 1859-1860, et à 782,000 balles, en 1860-1861, est montée à 1,992,000 balles de 375 livres, en 1865-1866, pour redescendre à 1,524,000 balles de 370 livres, en 1866-1867; puis elle a considérablement baissé, mais a repris ensuite son mouvement ascensionnel. En 1876, la culture du coton dans la présidence de Madras, l'une de celles où le cotonnier est le plus répandu, couvrait une superficie aussi étendue qu'en 1864, et l'on estime l'exportation totale en 1889 à 1,600,000 balles, chiffre approchant du maximum atteint pendant la période de crise.

Malgré l'amélioration des races de cotonniers indigènes, la qualité des produits obtenus aux Indes est encore inférieure à celle des cotons d'Amérique, qui se vendent un tiers plus cher. La culture cotonnière rencontre cependant dans ce pays des conditions particulièrement favorables qui ne peuvent manquer d'en assurer le développement; sobre, nombreuse et laborieuse, la population possède en outre le grand avantage d'être familiarisée de temps immémorial avec cette culture, comme elle l'est avec le tissage.

La fabrication des étoffes de coton prend elle-même beaucoup d'extension sur le territoire des Indes. Tandis que les manufactures consommaient seulement 15,747,000 kilogrammes de matière première en 1870, elles en absorbent actuellement plus de 160 millions de kilogrammes.

Dans la vallée du Nil, on trouve une excellente variété de coton, le *jumel*, qui permet à l'*Égypte* de lutter avec succès contre la concurrence américaine. Quoique ce pays compte parmi ceux où le coton a été le plus anciennement connu, la culture y est restée longtemps fort languissante. Vers 1820, Méhemet Ali chercha à propager le cotonnier : ses efforts ne furent pas infructueux; de 1856 à 1860, l'Égypte se trouvait déjà en mesure d'exporter annuellement vers l'Europe 188,250 balles de 430 livres et prenait le troisième rang dans l'échelle des centres de production. Sous l'influence des mesures

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

prises par le vice-roi, lors de la crise, grâce aussi à la richesse naturelle du sol, ainsi qu'à l'emploi de machines agricoles, de charrues à vapeur et de bonnes machines à égrener, l'exportation s'est élevée en 1862-1863 à 227,000 balles de 490 livres, en 1863-1864 à 325,000 balles, en 1864-1865 à 374,000 balles; l'Angleterre seule accuse avoir reçu 79 millions de kilogrammes en 1865, au lieu de 18,250,000 en 1861. D'ailleurs le haut prix de la matière constituait une prime suffisante pour en développer la production : le jumel fair, qui se vendait à Liverpool 1 fr. 96 le kilogramme en janvier 1861, fut coté 6 fr. 80 en octobre 1863.

L'essor imprimé à la production ne s'est pas arrêté : en 1871, l'exportation était de 120 millions de kilogrammes; depuis, elle a encore augmenté, malgré la concurrence du coton d'Amérique, et en 1888, la culture du cotonnier occupait en Égypte 589,824 hectares, donnant une récolte de 135,725,000 kilogrammes. Cette culture paraît du reste susceptible d'étendre encore considérablement son domaine : d'après une pétition adressée au vice-roi par la *Cotton Supply Association*[1], il existerait en Égypte 3 millions de *feddans* de terres, tout à fait propres à recevoir des plantations de cotonniers et dont une irrigation suffisante, jointe à des moyens perfectionnés d'exploitation, permettrait de tirer annuellement 3 millions de balles.

Au *Brésil*, l'impulsion résultant de la crise a été moins durable. Ce pays, qui en 1860-1861 envoyait à l'Europe 141,000 balles de 140 livres, porta son exportation à 518,000 balles de 160 livres en 1865-1866. Mais, dès 1866-1867, les sorties se réduisaient à 481,000 balles; elles ne cessèrent ensuite de décroître jusqu'en 1879. Après 1879, un mouvement de reprise s'est dessiné, et l'exportation a pu remonter à 302,000 balles de 70 kilogrammes en 1888. Trois espèces de cotonnier très appréciées sont natives du Bré-

[1] *Association pour le développement de la culture du coton*, fondée en 1856 à Manchester, dans le but de «développer le plus «possible et par toutes sortes de moyens l'ap«titude de pays autres que les États-Unis à «produire le coton».

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sil; les vastes espaces de ce beau pays, sa chaleur humide, ses irrigations faciles, semblent l'appeler à un brillant avenir comme producteur de coton.

Le *Mexique* possède des terres très favorables à la culture du coton; mais cette culture était beaucoup plus développée sous la monarchie aztèque que de nos jours. Au commencement du siècle, la Vera Cruz avait encore un marché abondant; aujourd'hui la récolte ne dépasse pas 45 millions de kilogrammes et l'exportation est insignifiante.

Dans l'*Amérique centrale,* patrie des belles races de cotonniers, au Chili, au Pérou, aux Antilles, l'exportation n'a eu quelque importance qu'à l'époque de la crise. Là, comme ailleurs, des régions que l'on croyait définitivement conquises par le cotonnier se sont trouvées impuissantes à soutenir la concurrence des États-Unis.

Il en est de même de certains pays du *Levant.* Toutefois la *Turquie* a fait des efforts sérieux et amélioré ses produits par l'emploi de bonnes machines à égrener.

Très ancienne en *Italie,* la culture du coton n'y a acquis une certaine importance qu'à deux époques : au commencement du siècle, quand les guerres du premier Empire entravaient le commerce maritime avec l'Angleterre et l'Amérique, puis pendant la guerre de Sécession. La brièveté relative de la saison chaude, même en Sicile et dans les provinces napolitaines, y rend cette culture peu rémunératrice dans des circonstances normales. De 88,000 hectares produisant 62,290,000 kilogrammes en 1864, la surface cultivée est descendue, en 1873, à 34,500 hectares donnant 18 millions de kilogrammes; elle a continué à décroître et ne fournit qu'un appoint à la consommation locale.

L'*Espagne* est dans une situation analogue. Si la culture du coton n'a pas trop décliné en *Grèce* depuis la crise, cela tient à ce que la fin de la guerre de Sécession a coïncidé avec l'établissement de la filature grecque; la production annuelle, qui ne paraît pas atteindre 7 millions de kilogrammes, est insuffisante pour les besoins de l'industrie.

Depuis un temps immémorial, le coton est cultivé dans l'*Asie cen-*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

trale, dans les vallées de l'Amou-Daria et du Sir-Daria, en Boukharie, au Khokand : le débouché offert par la construction du chemin de fer transcaspien est venu imprimer à la production un vigoureux essor, et, dans la région de Boukhara seule, la culture occupe 70,000 hectares environ.

A l'époque de la crise, l'*Algérie* et les colonies françaises ont fourni une certaine quantité de coton. D'après les documents imprimés par les soins du Gouvernement général, la production se serait élevée à 493,000 kilogrammes en 1864, à 615,000 en 1865, à 744,000 en 1866, puis aurait rapidement décliné. Le rapporteur du jury de 1867 cite, d'autre part, pour l'importation des cotons d'Algérie en France, les chiffres suivants : année 1861, 246,000 kilogrammes; année 1862, 134,000; année 1863, 157,000; année 1864, 443,000; année 1865, 560,000. C'était peu de chose relativement au total des importations; cependant il n'y en avait pas moins un réel service rendu à la métropole, eu égard à la belle qualité des cotons fins, longue soie, de notre colonie. Après le rétablissement de la paix aux États-Unis, la culture cotonnière a peu à peu disparu pour faire place à d'autres cultures plus rémunératrices, telles que celle de la vigne.

Quant à la Guyane et aux Antilles françaises, elles ont également abandonné le coton pour la canne à sucre.

Les divers pays producteurs exportent le coton en balles, dont le poids et le volume diffèrent beaucoup et varient notamment avec les facilités de transport du lieu de culture au port d'embarquement. C'est ainsi qu'aujourd'hui les balles du Pérou ne dépassent guère 50 kilogrammes (poids net) et celles du Brésil 70 kilogrammes, tandis que celles d'Haïti atteignent 200, celles des États-Unis 205 et celles de l'Égypte 325 kilogrammes. Le poids des balles de l'Inde diffère avec les centres de production (135 à 175 kilogrammes) : les Anglais en soignent beaucoup la confection et leur donnent, au moyen de la presse hydraulique, un minimum de volume pour un maximum de poids; ils les entourent de toile et les cerclent de fer.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La confection des balles présente une réelle importance, à raison des poids énormes de coton manipulés chaque année dans le monde; généralement les régions nouvelles, n'ayant ni presses ni moyens de transport, débutent par des balles de poids réduit[1]; les régions anciennes manifestent la tendance contraire[2].

2. Lin, chanvre et autres végétaux textiles. — Parmi tous les végétaux susceptibles de fournir des matières textiles, le *lin* et le *chanvre* sont les plus anciennement connus. Si loin que l'on remonte dans l'antiquité, on trouve le lin en usage à Sidon, à Tyr, en Égypte, chez les Hébreux. Plus mystérieuses, les origines de l'emploi du chanvre ne s'en perdent pas moins dans la nuit des temps : la filature et le tissage des fibres de cette plante paraissent avoir été pratiqués, bien avant notre ère, aussi bien dans les régions chaudes de l'Asie que vers le nord de l'ancien continent.

En Grèce et à Rome, l'industrie du lin et du chanvre a été beaucoup moins précoce et n'a pas pris le même développement que celle de la laine : ce sont en effet des matières qui exigent plus d'apprêts; il faut les rouir, les sécher, les broyer, les teiller, avant le peignage et le filage.

Suivant le témoignage de Thucydide et d'Hérodote, les Grecs cultivaient le lin et s'en servaient pour la confection de leurs vêtements. Les Romains l'utilisèrent également dans la préparation de leurs tuniques : d'après Virgile, ils le connurent par les Gaulois. Quant au chanvre, Grecs et Romains n'en tiraient guère parti que pour la fabrication des câbles, des cordages et des filets : ils se sont laissé devancer par les peuples du Nord, pour la culture et la transformation en toiles, en vêtements, en voiles de navires.

La culture linière était déjà fort avancée dans la Gaule au temps de César : car ses vastes champs de lin frappèrent d'admiration les soldats romains. Un peu plus tard, sous le règne d'Auguste, l'histoire

[1] Pendant la période 1860-1866, les apports des pays nouveaux ont sensiblement réduit le poids moyen des balles de toutes sortes importées en Angleterre. — [2] Voir, pour la statistique du commerce extérieur, tome V, page 291 et suivantes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

signale l'importation en Italie de toiles venant du pays des Atrébates (Artois). Les Francs continuèrent la tradition des vieux Gaulois. Cependant, en dehors des Flandres, le tissage du lin paraît avoir traversé une longue période de décroissance : je crois inutile de reproduire ici les renseignements que j'ai donnés, tome V, page 299, relativement au prix élevé et à la rareté du beau linge, surtout du linge de corps, pendant tout le moyen âge ; il me suffira de rappeler le cadeau royal fait par les femmes de Cornouailles à Anne de Bretagne, lors de son mariage avec Charles VIII, et consistant en quatre douzaines et demie de chemises et six paires de draps.

Pour le chanvre, il faut aller jusqu'au XVI^e^ siècle avant de voir poindre la fabrication d'une toile ayant la souplesse et la finesse indispensables au linge de corps : la chronique cita comme une nouveauté deux chemises de chanvre possédées par Catherine de Médicis.

On sait le vieux renom de la Flandre ; selon la légende, la seule ville de Louvain aurait compté, dès le XII^e^ siècle, 100,000 tisserands ; l'auteur du dénombrement s'est sans doute rendu coupable de quelque erreur d'addition. Quoi qu'il en soit, la Hollande, la Frise et le Brabant avaient au XIII^e^ siècle une réputation bien assise, et cette réputation ne fit que grandir pendant les siècles suivants. Les Pays-Bas produisirent des services de table admirables par leur finesse et leurs dessins.

En même temps que se développaient les relations commerciales, l'usage des tissus de lin tendait à se généraliser. L'industrie elle-même prenait de l'extension, notamment en Allemagne ; de simples fabricants de toile prêtaient des millions aux papes et aux empereurs, et Charles-Quint pouvait dire à François I^er^ : « J'ai dans ma ville d'Augs-« bourg un tisserand (Sugger) capable de vous acheter tous les tré-« sors de la couronne de France ». La guerre de Trente ans porta un coup funeste à la fabrique allemande, et le commerce des fils fut presque monopolisé par l'Angleterre et surtout par la Hollande. Ce dernier pays, bien que produisant peu par lui-même et vendant plutôt des tissus de Flandre, n'en consacra pas moins définitivement sa renommée.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Sur le sol français, le travail du lin restait à peu près localisé dans le Nord et en Bretagne. Colbert fonda plusieurs manufactures en divers points du territoire, leur prodigua les encouragements, leur imprima une vive impulsion. L'effet de cette intelligente initiative ne se fit pas attendre : en 1686, nous exportions pour 19 millions de tissus de lin en Angleterre. Malheureusement la révocation de l'édit de Nantes vint à ce moment enrayer l'essor de la production française.

Il est difficile de savoir avec quelque précision l'étendue de la culture du lin en France avant la Révolution. La seule indication un peu certaine ne date que de 1819 : elle est donnée par le comte Chaptal, qui, dans son livre sur l'industrie française, évalue la surface ensemencée à 40,000 hectares. A la même époque, la culture du chanvre occupait 100,000 hectares. Chaptal estime d'ailleurs la récolte à 19 millions pour le lin et à 31 millions pour le chanvre.

L'invention de la filature mécanique du lin, par Philippe de Girard, a marqué une date mémorable dans l'industrie linière, accru la consommation et par suite favorisé la culture. Nous aurions dû savoir profiter immédiatement de cette belle découverte; mais nul n'est prophète en son pays. Plus pratiques que nous, les Anglais se hâtèrent de recourir aux nouveaux procédés et transformèrent rapidement leur outillage; bientôt leurs machines étaient arrivées à un degré de perfection suffisant pour permettre l'emploi de lins communs, tels que ceux de Russie. La culture du lin en France, après avoir souffert, plus peut-être que toute autre, du manque de bras causé par les guerres de l'Empire, commençait à se relever sous la Restauration et bénéficiait des droits protecteurs institués depuis peu, quand s'opéra cette véritable révolution industrielle. L'Angleterre nous inonda de ses fils et de ses tissus; nos filasses furent délaissées pour les filasses belges, hollandaises et russes; notre exportation de matière première, qui était principalement dirigée vers les manufactures britanniques et qui s'élevait à 2,635,000 kilogrammes en 1825, tomba à 535,000 kilogrammes en 1837.

Cependant la filature mécanique finit par s'implanter en France;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

grâce à son influence bienfaisante, grâce aussi au régime douanier, la culture du lin reprit son essor. En 1840, nous avions 98,210 hectares ensemencés en lin, et notre production de filasse était de 36,875,000 kilogrammes.

La reprise s'accentuait lorsque l'abondance et le bas prix du coton amenèrent un nouvel affaissement. Quoique chacun des deux textiles eût son domaine propre, la limite n'était pas tellement tracée que le coton ne pût, soit seul, soit à l'état de mélange, se substituer au lin en beaucoup de cas. A cette cause de décadence de la culture linière en France se joignaient l'amélioration des moyens de transport, l'extension des rapports commerciaux avec l'étranger, la facilité plus grande donnée aux importations des autres pays producteurs de matière première.

Au moment de la guerre de Sécession, l'industrie et la culture du lin se ranimèrent à la faveur de la crise cotonnière. Mais ce fut un réveil de courte durée, ainsi qu'en témoigne le tableau suivant :

ANNÉES.	SURFACE ENSEMENCÉE EN LIN.
	hectares.
1840	98,211
1852	80,336
1862	105,455
1871	79,721
1882	44,148
1887	44,067
1889	34,255

La diminution de la superficie cultivée est donc de 68 p. 100 environ depuis 1862. Cette réduction a été partiellement compensée par l'augmentation du rendement à l'hectare, qui, de 375 kilogrammes de filasse en 1840 et de 496 kilogrammes en 1862, est passée à 679 kilogrammes en 1882 ; mais il n'en reste pas moins une chute considérable. Un phénomène plus ou moins semblable s'est manifesté dans les autres pays, comme le montrent les chiffres consignés, tome V, page 316.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Nous ne produisons plus le tiers du lin consommé par nos manufactures. En 1889, la France a dû importer 30,520 quintaux de lin brut en tiges, 659,320 quintaux de lin teillé, 49,800 quintaux d'étoupe, 1,760 quintaux de lin peigné; ce sont surtout la Russie et la Belgique qui comblent notre déficit. De 1882 à 1887, l'affaissement ne s'était pas poursuivi, et l'on pouvait se demander si les effets de la concurrence du coton n'avaient pas atteint leur maximum; mais les chiffres des dernières années sont peu rassurants à cet égard.

En France, les principaux centres de culture sont le Nord, les Côtes-du-Nord, le Pas-de-Calais, la Vendée, les Landes, la Manche, le Finistère, la Loire-Inférieure, les Basses-Pyrénées, le Gers, l'Ariège, le Maine-et-Loire, la Somme et l'Eure. Dans le département du Nord, c'est-à-dire au foyer de production jadis le plus actif, le lin a rencontré un rival redoutable, la betterave à sucre, d'une culture plus facile et plus avantageuse : on ne peut méconnaître en effet que ce textile ne réclame beaucoup de soins, qu'il n'exige notamment des opérations coûteuses de sarclage et d'arrachage.

Différentes circonstances ont également réduit la culture du chanvre : tout d'abord il y a lieu de citer l'apparition et le succès des végétaux filamenteux de l'Inde et de l'Extrême-Orient, en particulier du jute; d'autre part, le remplacement progressif de la navigation à voiles par la navigation à vapeur et la substitution de câbles en fer aux anciens câbles de chanvre ont exercé une action funeste sur la consommation. Voici comment s'est modifiée depuis 1819 l'étendue de la culture :

ANNÉES.	SUPERFICIE ENSEMENCÉE EN CHANVRE.
	hectares.
1819	100,000
1840	176,000
1852	123,357
1862	100,114
1871	96,395
1882	63,484
1887	59,865
1889	53,825

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Comme pour le lin, la diminution a été en partie compensée par l'augmentation du rendement à l'hectare : 709 kilogrammes en 1882, au lieu de 574 en 1862. Nos manufactures n'en sont pas moins obligées de prendre au dehors le tiers environ de leur approvisionnement. En 1889, nous avons importé 103,550 quintaux de chanvre teillé, 18,420 quintaux d'étoupes de chanvre, 19,740 quintaux de chanvre peigné : c'est surtout d'Italie que la France reçoit cet appoint. Sans être complètement enrayé, le mouvement de réduction de la culture du chanvre en France se ralentit sensiblement : les effets de la concurrence du jute paraissent avoir presque atteint leur maximum.

Nos centres les plus importants de production sont dans les départements de Maine-et-Loire, de la Sarthe, du Morbihan, de la Haute-Vienne, de la Creuse, des Côtes-du-Nord, de la Nièvre, d'Indre-et-Loire, de l'Ain, d'Ille-et-Vilaine, du Finistère, de Saône-et-Loire, de la Corrèze, de Lot-et-Garonne, de la Mayenne, de l'Isère, de la Manche, du Cher et de la Vienne.

Une loi toute récente, du 12 janvier 1892, vient d'instituer des primes en faveur de la culture du lin et du chanvre.

D'après la dernière statistique décennale de l'Agriculture (1882), l'étendue de la culture du lin et du chanvre et la production dans les principaux pays étaient évaluées aux chiffres suivants :

PAYS.	LIN.		CHANVRE.	
	SUPERFICIE.	PRODUCTION DE FILASSE.	SUPERFICIE.	PRODUCTION DE FILASSE.
	hectares.	kilogr.	hectares.	kilogr.
France	44,148	30,004,800	63,484	45,019,600
Allemagne	108,297	70,718,000	15,255	12,000,000
Autriche-Hongrie	98,575	50,100,000	//	74,000,000
Belgique	40,178	25,307,000	//	//
Grande-Bretagne	45,000	35,415,000	//	//
Italie	81,000	23,500,000	//	96,000,000
Pays-Bas	13,900	8,000,000	//	//
Roumanie	//	//	//	2,500,000
Russie	781,000	310,000,000	//	164,000,000
Suède	15,800	3,000,000	//	//
États-Unis	170,000	43,000,000	//	13,000,000

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le Ministère de l'agriculture estimait la production annuelle du lin en Europe à 5,800,000 quintaux métriques de filasse, et celle du chanvre à 4 millions de quintaux; il portait à 600 millions de francs environ la valeur des récoltes.

Comme le montre le tableau précédent, la Russie tient la tête pour la production du lin et fournit, à elle seule, la moitié de la récolte totale du monde civilisé; la plus grosse part de ses produits est exportée. Les provinces du Sud ont des cultures considérables faites uniquement en vue de la graine, qu'elles envoient au loin vers l'Europe centrale et occidentale. Malgré tout, le lin perd du terrain, même en Russie.

Ensuite se placent l'Allemagne, l'Autriche-Hongrie, l'Irlande.

Depuis des siècles, les plus beaux et les meilleurs lins viennent des Flandres : les populations, familiarisées de temps immémorial avec toutes les opérations de la culture et de la préparation de ce textile, excellent dans les nombreuses opérations qu'exige l'industrie linière. La Belgique soutient vaillamment sa vieille réputation. Bien que n'ayant pas une culture aussi développée, les Pays-Bas donnent également des produits remarquables.

Les pays du Midi cultivent le lin pour la graine plutôt que pour la filasse. C'est aussi le cas de certaines républiques de l'Amérique du Sud et des États-Unis, où d'ailleurs le coton règne en souverain maître.

Pour le chanvre, les régions productrices, classées par ordre d'importance, sont : la Russie, l'Italie, l'Autriche-Hongrie, la France, etc. En Russie, ce sont les gouvernements de l'Ouest et du Nord-Ouest (Russie blanche et Ukraine) qui fournissent les meilleures qualités; l'exportation, dont le port de Riga constitue le principal débouché, représente près de la moitié de la récolte. Les plus beaux chanvres viennent de l'Italie, qui possède à cet égard la même supériorité que la Flandre au point de vue du lin[1].

La plupart des végétaux d'où l'on pouvait extraire des fibres textiles

[1] Voir, pour la statistique du commerce extérieur, tome V, page 318 et suivantes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ont fait, depuis deux siècles environ, l'objet de recherches et d'essais industriels nombreux. Partout la crise cotonnière a imprimé un nouvel et puissant essor à ces investigations. Si elles n'ont pas révélé de substance pouvant rivaliser avec le coton, elles ont du moins contribué à faire connaître et à répandre en Europe des matières exotiques, telles que le jute et la ramie, dont l'emploi se développe de jour en jour : le poids de ces matières manufacturées en Angleterre dépasse déjà celui du chanvre et approche de celui du lin. J'ai déjà donné sur le jute et sur la ramie, tome V, page 325, des indications assez complètes pour n'avoir point à y revenir ici [1].

Il convient de citer aussi le *Phormium tenax*, ou lin de la Nouvelle-Zélande; le chanvre de Manille (fibres extraites de deux espèces de bananiers, aux Philippines); les fibres extraites soit des feuilles, soit de l'enveloppe des noix de cocotier; le crin végétal, tiré des feuilles de palmier nain, notamment en Algérie; l'alfa; les fibres du palmier-dattier, des agaves, des yuccas, de l'aloès, etc. Quelques-uns de ces textiles ont été déjà mentionnés dans des chapitres précédents; les autres ne présentent que peu d'importance industrielle et ne sont guère transformés en dehors du lieu d'origine. Beaucoup sont pratiquement impropres à tout autre usage que la vannerie, la corderie ou la fabrication du papier.

3. Laine. — Le travail de la laine a été l'une des premières industries de l'homme, comme l'élevage des troupeaux l'une de ses premières occupations. Descendant fort dégénéré de l'argali ou mouflon, la brebis domestique est contemporaine des anciens pasteurs; le berceau de notre race ovine se trouve dans l'Asie centrale, en Perse ou en Mésopotamie. Aux temps les plus reculés, tous les peuples répandus sur le vaste bassin de l'Euphrate filaient la laine, tissaient des étoffes, les teignaient, les brodaient même, alors que la plupart des

[1] Depuis l'impression du tome V, M. Lecomte, professeur au lycée Saint-Louis, a bien voulu me fournir au sujet de la ramie quelques indications complémentaires. Suivant ces indications, on a détaché de l'ancien genre *Urtica* un genre nouveau *Bœhmeria*, auquel se rattache la ramie. Les dénominations correctes sont : *Bœhmeria utilis* de Blume ou *Bœhmeria tenacissima* de Gaudichaud; *Bœhmeria nivea; Bœhmeria candicans.*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nations de l'Occident n'avaient encore pour vêtements que des peaux de bêtes.

On sait par la Bible toute l'importance attachée à l'élevage des brebis chez les Hébreux, qui y trouvaient l'une des sources principales de leur richesse. Les Phéniciens et les Grecs se consacrèrent également à l'élève des moutons et jouirent d'une véritable célébrité pour le travail de la laine. Plus tard, les Romains suivirent cet exemple, et des sénateurs aux mœurs simples ne dédaignaient pas de conduire eux-mêmes leurs troupeaux. Bien avant l'ère chrétienne, les laines d'Italie et d'Espagne avaient une renommée fortement assise; il en était de même des laines de la Gaule, déjà réputées à l'époque de César.

Après avoir conquis l'Espagne, les Maures y développèrent l'industrie lainière; ils apportèrent tous leurs soins à l'élevage des troupeaux, singulièrement favorisé d'ailleurs par l'étendue des terres de pâturage et par la pratique du libre pacage. Sous leur influence, la péninsule ibérique devint l'un des premiers pays du monde, pour la production et la transformation de la laine.

Quand se furent effacées les traces de l'invasion des Barbares, une ère de renaissance s'ouvrit en Italie, en France, plus encore peut-être dans les Flandres, que les villes hanséatiques alimentaient largement de belles laines. Les Pays-Bas acquirent un renom industriel qui leur resta jusqu'au XVI^e^ siècle.

En Angleterre, le travail de la laine progressa moins vite. Si l'on en croit un historien belge, « au X^e^ et au XI^e^ siècle, les Anglais n'étaient « que des gardiens de troupeaux et des marchands de laine ». L'étendue des terres en friche et le peu de densité de la population favorisaient l'élevage britannique. Comprenant tout l'intérêt de cet élevage pour leurs sujets, les souverains prirent des mesures de toutes sortes en vue de l'encourager; ils placèrent les troupeaux sous la protection d'édits et de règlements; ils détruisirent aussi les loups qui ravageaient le pays, et ce fut même l'un des titres du roi Edgard à la reconnaissance publique. Le climat et les soins aidant, l'Angleterre put améliorer ses laines et les voir bientôt recherchées par les diverses nations manufacturières. Au XIV^e^ siècle, sous Édouard III, les manufactures

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

flamandes recevaient annuellement 50,000 ballots de laine anglaise. C'est ce prince qui, désireux de développer l'industrie lainière, institua des droits de sortie sur la matière première et attira des Flandres un certain nombre de fabricants; c'est encore lui qui imagina de donner aux membres du Parlement des sacs de laine en guise de siège, pour leur rappeler l'importance de la production nationale.

Au delà des Pyrénées comme en Angleterre, les toisons s'amélioraient sans cesse, grâce aux soins d'éleveurs intelligents et attentifs, qui écartaient les agneaux dégénérés, choisissaient non seulement les béliers, mais aussi les brebis réunissant les plus belles qualités de laine, et formaient ainsi des troupeaux d'élite pour la reproduction. Les anciens ont dû connaître ces principes fondamentaux de l'élevage, pratiquer cette sélection sur laquelle repose l'amélioration des races; ils ont dû être initiés à l'acclimatation des bonnes races exotiques, aux moyens de les développer rapidement avec une souche de quelques individus minutieusement triés, aux méthodes permettant de modifier le mouton, de le transformer, de l'approprier au climat, de lui faire produire la laine réclamée par le commerce. Perdue en beaucoup de pays à travers les guerres, les invasions, les luttes intestines, la tradition s'était du moins conservée en Espagne. Lorsque au XIV^e^ siècle les troupeaux indigènes accusèrent une certaine dégénérescence, lorsque se montrèrent les vices résultant de la consanguinité, le Gouvernement n'hésita point à faire venir de Barbarie des béliers et des brebis réputés pour leur laine : de ces troupeaux d'outre-mer est née la race célèbre des mérinos qui a fourni à l'Europe ses meilleures laines et s'est répandue dans le monde entier. Chaque fois que les Espagnols se sont aperçus de l'abâtardissement de leurs moutons, ils ont recouru au même procédé. Grâce à ces mesures de régénération, aux conditions climatériques, à la qualité des pacages et à une expérience séculaire de l'élevage, les laines d'Espagne ont mérité leur réputation universelle.

L'Angleterre se servit au XV^e^ siècle des moutons espagnols pour perfectionner ses troupeaux. D'habiles croisements avec des béliers mérinos, un climat et une nourriture favorables, enfin l'application

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de méthodes intelligentes d'élevage, propagées par Backevel, amenèrent peu à peu une profonde transformation des laines, allongèrent les brins, les blanchirent, en augmentèrent le lustre et donnèrent ainsi naissance aux races *à laine longue,* dont l'amélioration s'est ensuite poursuivie. La Grande-Bretagne tirait alors un grand profit de ses exportations de laine, et ce fut seulement au XVII^e^ siècle que ses manufactures prirent assez d'extension pour absorber toute la production indigène et faire appel à la production étrangère. En 1774, elle possédait 10 à 12 millions de têtes.

Vers la fin du XVII^e^ siècle, la Hollande, dont les laines ont eu longtemps le même renom que les laines anglaises, améliora ses toisons en important des Indes Orientales une belle race de béliers et de brebis à laine longue, qu'elle acclimata dans le Texel et la Frise, puis qu'elle croisa, un siècle plus tard, avec des moutons espagnols.

Cet exemple fut suivi par la Suède qui, l'une des premières, perfectionna sa race ovine par l'importation des meilleurs types d'Espagne et d'Angleterre.

Les grands efforts de la Prusse pour l'amélioration des laines ne remontent guère au delà de 1815. Cependant les tentatives ont commencé sous Frédéric II (1748). Sept ans après (1755), Marie-Thérèse importa en Bohême et en Autriche un troupeau de brebis et de béliers espagnols; des mérinos introduits en 1765 sur le territoire de la Saxe donnèrent naissance à la race fameuse dite *électorale.*

De son côté, le Danemark avait réalisé de notables progrès.

C'est à ces divers pays de l'Europe septentrionale que nos manufactures du Nord demandèrent toutes leurs laines fines, jusqu'aux dernières années du XVIII^e^ siècle, tandis que les manufactures du Midi s'approvisionnaient en Espagne, en Italie et en Turquie : nos laines indigènes, dont la valeur s'était progressivement abaissée, ne servaient qu'aux usages les plus grossiers.

A Daubenton revient l'honneur des premiers essais entrepris en France, pour l'amélioration des laines communes par l'accouplement de brebis indigènes convenablement choisies avec des mérinos d'Espagne. Cet habile naturaliste mit tout en œuvre, pendant trente ans,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pour vulgariser ses méthodes et propager les produits de ses croisements. En 1786, Louis XVI, sur les instances de Tessier, obtint du Gouvernement espagnol un troupeau de 330 bêtes à laine superfine, qui, placé à Rambouillet dans un domaine royal, envoya ensuite des béliers dans la plupart des provinces. Cette bergerie fut le foyer du relèvement de notre race ovine; son influence se fit bientôt sentir sur les laines de la Bourgogne, du Berry, de la Normandie, de la Brie, de la Beauce, et ses succès furent tels que la France put fournir des reproducteurs à un grand nombre d'éleveurs étrangers.

Vers 1789, la France comptait environ 27 millions de bêtes à laine, y compris 7 millions d'agneaux. En 1812, suivant Chaptal, notre population ovine donnait annuellement 766,000 kilogrammes de laine mérinos, 3,579,000 kilogrammes de laine métisse et 30,844,000 kilogrammes de laine commune.

Le grand essor de notre industrie lainière date surtout de la Révolution; c'est à partir de ce moment que la consommation des lainages de toutes sortes s'est étendue et généralisée dans toutes les classes de la nation : depuis, elle n'a cessé de s'accroître avec le bien-être du pays. Du reste, au delà comme en deçà de nos frontières, la substitution des moyens mécaniques et automatiques au travail manuel, les progrès de la filature et ceux du tissage sont venus, à cette époque, donner une vive impulsion aux manufactures, augmenter énormément leur puissance de production, diminuer leurs prix de revient, élargir le champ d'expansion de leurs produits.

Stimulée par le mouvement industriel, plus instruite, nourrissant mieux ses troupeaux, l'agriculture réussit à élever tout à la fois le nombre des bêtes à laine en même temps que le poids des toisons. Cependant les pays manufacturiers ne trouvaient point chez eux toute la matière première dont ils avaient besoin; sauf la Russie et l'Espagne, où la fabrication des tissus de laine demeurait assez restreinte, les diverses nations de l'Europe devaient recourir à l'étranger, tant pour combler leur déficit que pour se procurer les qualités qui leur faisaient défaut. La France notamment n'avait pas, en 1820, le tiers des 100 millions de bêtes à laine que Napoléon Ier s'était plu à

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

espérer pour elle; son importation, évaluée à un peu moins de 7 millions de kilogrammes en 1789, ne descendait guère au-dessous de ce chiffre, et même, à partir de 1820, montait rapidement pour atteindre environ 13 millions de kilogrammes en 1830, 30 millions en 1840, 47 millions en 1850. Au début du siècle, l'Espagne et la Turquie constituaient les centres principaux d'approvisionnement de nos manufactures; un peu plus tard, les laines d'Allemagne commencèrent à nous envahir et à remplacer les nôtres pour la fabrication des étoffes fines; de leur côté, les laines de Russie entraient largement dans la consommation pour les nouveautés et l'industrie du peigné.

Jetons un coup d'œil rapide sur la situation de ces différents pays exportateurs pendant la première moitié du XIX^e^ siècle.

La Russie avait développé ses troupeaux au point de devenir le plus grand producteur de laine en Europe. Ses immenses prairies, situées dans des régions tempérées et peu humides, se prêtaient d'ailleurs admirablement à l'élevage du mouton. La qualité n'était point, il est vrai, des plus fines, malgré l'introduction en Pologne des mérinos de Saxe, malgré l'importation en Crimée, vers 1803, des béliers d'Espagne. Mais cela n'empêchait pas les Russes de concourir puissamment à l'alimentation des manufactures étrangères. En 1845, la Russie d'Europe possédait à elle seule 45 millions de têtes, dont 1/5 de mérinos.

Grâce à ses admirables ressources naturelles, la Turquie était également riche en bêtes à laine et fournissait à l'industrie européenne un appoint important.

L'Espagne produisait des laines très fines.

Quant aux États germaniques, obligés jusqu'au XVIII^e^ siècle de s'approvisionner de laines étrangères, ils étaient parvenus à accroître considérablement leur production et pourvoyaient à leur tour les pays voisins.

A ces sources d'approvisionnement, il y a lieu d'ajouter l'Amérique du Sud, dont les envois n'avaient qu'une minime importance, l'Australie, dont l'exportation ne dépassait pas encore 4,500,000 kilogrammes en 1840, et le Cap, qui, vers la même époque, donnait à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

peine 400,000 kilogrammes. Les laines d'outre-mer laissaient alors beaucoup à désirer au point de vue de la qualité et de la pureté; il fallait, pour en développer l'importation en Europe, les améliorer très sensiblement sous le rapport de la finesse des brins et les débarrasser plus soigneusement des matières étrangères.

Vers le milieu du siècle, un grand fait économique est venu bouleverser complètement le commerce des laines : je veux parler du développement de l'élevage dans les colonies anglaises et l'Amérique du Sud.

Ces contrées présentaient en effet et présentent encore aujourd'hui d'immenses espaces que n'a point envahis la culture et dont la végétation spontanée convient merveilleusement à l'élève des troupeaux; les moutons, en particulier, peuvent s'y multiplier à l'infini et y vivre presque à l'état sauvage. La laine fine ayant une valeur considérable sous un faible poids et pouvant dès lors se transporter avec profit loin du lieu d'origine, on comprend que des pays neufs et mal peuplés, comme l'Australie, le Cap, la République Argentine, soient devenus les centres d'une active production et que leurs laines aient rapidement conquis le marché européen.

A cette époque, la production de la laine fine, presque exclusivement confinée dans l'Europe centrale et occidentale, y trouvait de moins en moins les conditions économiques qu'elle réclame. La « bête « à laine » est avant tout l'animal des pays à population clairsemée, à climat sec, à culture extensive, à vastes pâturages. Au fur et à mesure que la population devient plus dense, la terre plus coûteuse, la propriété plus divisée, on voit inévitablement l'industrie pastorale se transformer, les intérêts et les nécessités de l'alimentation prendre une importance capitale, la production de la *chair* primer celle de la *toison*. En France, par exemple, le rapport entre le prix moyen du kilogramme de viande et le prix du kilogramme de laine ne dépassait pas 1/5 à l'origine du siècle; vers 1860, il était monté à 1/2, et depuis il a encore considérablement augmenté. Dans le centre de la Russie, au contraire, la chair n'a qu'une valeur minime, et l'on peut

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dire que, dans les pampas de l'Amérique méridionale, elle n'entre pour ainsi dire pas en ligne de compte.

Tandis qu'obéissant à une loi inéluctable, les grands pays manufacturiers de l'Europe commençaient à se préoccuper surtout de la viande et sacrifiaient la finesse de leurs laines, tandis que disparaissaient les belles races « électorales » de la Saxe et de l'Allemagne, l'Australie, la Nouvelle-Zélande, le Cap, la République Argentine et l'Uruguay imprimaient à la production de la laine fine un essor inouï.

C'est vers la fin du XVIII^e^ siècle qu'apparurent en *Australie* les mérinos de race pure. Mac Arthur, capitaine d'infanterie, l'un des premiers colons australiens (1790), importa du Cap de Bonne-Espérance 3 béliers mérinos et 5 brebis; en 1803, il effectua une nouvelle importation de mérinos, achetés par lui en Angleterre et amenés à bord d'un navire qui portait le nom significatif d'*Argo*. Un certain délai s'écoula avant que le petit troupeau fît parler de lui. Cependant, en 1807, les Australiens pouvaient envoyer à la mère patrie leur première balle de laine. Les progrès s'accentuèrent à partir de 1820, quand la colonisation, bornée d'abord à la Nouvelle-Galles du Sud et à la Tasmanie, se fut étendue à l'Australie de l'Ouest et du Sud, à Victoria, à Queensland et à la Nouvelle-Zélande, régions éminemment propres à l'élevage des moutons. En 1810, l'Australie comptait 34,760 moutons; en 1845, ce nombre était passé à 5,604,640, et jusqu'en 1851, il alla croissant avec une rapidité extraordinaire. Après 1851, le mouvement, quoique encore ascendant, se ralentit un peu par suite de la découverte des mines d'or, vers lesquelles étaient attirés les bras et l'activité des habitants. Néanmoins la population ovine arrivait à 38 millions de têtes en 1867, à 66,200,000 en 1878 et à plus de 98 millions en 1889.

La production de la laine suivait une progression plus rapide encore, par suite de l'accroissement du poids individuel des toisons. De 75 kilogrammes en 1810, l'exportation pour l'Europe s'élevait successivement à 1 million de kilogrammes en 1830, à 4 millions et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

demi en 1840, à 19 millions et demi en 1850, à 29 millions et demi en 1860 et à 127 millions en 1877. Le produit de la tonte, estimé à 130 millions de kilogrammes en 1878, a dépassé 200 millions en 1889 : il est ainsi supérieur à celui du continent européen. Une amélioration constante s'est d'ailleurs manifestée, non seulement dans le poids, mais aussi dans la qualité des toisons; cependant, chaque année, l'Australie continue à acheter des béliers à Rambouillet et en Allemagne, pour perfectionner de plus en plus ses troupeaux et pour donner à ses moutons de la taille ainsi que de la précocité.

A côté des mérinos, les Australiens ont entrepris l'élevage d'autres races, dans les parties de leur continent où la situation économique est analogue à celle de l'Europe, c'est-à-dire près des grands centres, près des ports maritimes. Sur ces points, la viande se vend bien; l'industrie des frigorifiques permet d'ailleurs de l'exporter. Les colons devaient donc chercher à produire de la chair : ils ont choisi tout d'abord les grandes races anglaises à laine longue, puis opéré entre les mérinos et les moutons new-leicester à toison lustrée (du Lincolnshire) un croisement qui a parfaitement réussi; ce croisement, obtenu aussi en France sous le nom de dishley-mérinos, donne des bêtes à laine longue et soyeuse, dont le poids peut être rapidement développé.

D'une manière générale, l'accroissement de la population ovine en Australie est surtout marqué dans la Nouvelle-Galles du Sud et dans Queensland; à l'ouest de cette dernière province et en dehors de la ligne des tropiques, il reste encore des districts où l'on pourrait nourrir 65 millions de têtes.

La Nouvelle-Zélande a progressé de même que ses sœurs du continent australien; son exportation est montée de 1,500,000 francs à 65 millions, pendant la période de 1858 à 1878. Les troupeaux de la Nouvelle-Zélande sont actuellement poussés en vue de la viande; le climat plus tempéré de l'île semble convenir parfaitement à la nouvelle race croisée, qui n'y est pas exposée comme en Australie aux graves dangers résultant de sécheresses excessives.

Au *Cap de Bonne-Espérance*, l'élevage des moutons a été plus lent.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le mérinos y fut importé par les Hollandais, bien avant de l'être en Australie. C'est là, nous l'avons vu, que Mac Arthur prit les premiers mérinos introduits en Australie. Déjà, en 1810, le Cap importait dans la Grande-Bretagne 28,717 livres de laine mérine, tandis que l'Australie en envoyait seulement 167 livres.

Le Cap produisait 400,000 kilogrammes de laine en 1840, 2,900,000 en 1850, 8,300,000 en 1861. Dans son rapport sur l'Exposition de 1878, M. Vilmorin évalue l'exportation en 1877 à 180,700 balles de 150 kilogrammes; on comptait alors 16 millions de mérinos dans les possessions anglaises de l'Afrique méridionale. En 1889, la production totale du Cap et de la République Sud-Africaine n'est pas estimée à moins de 310,000 balles. Pendant les dix dernières années, le produit de la tonte, au Cap seulement, s'est élevé de 23 millions de kilogrammes à 39 millions et demi.

Très souvent les troupeaux du Cap sont décimés par la sécheresse. Aussi les Anglais y ont-ils introduit et développé l'élevage de la chèvre-angora qui supporte parfaitement les chaleurs sèches; aujourd'hui l'exportation de *mohairs* du Cap est plus considérable que celle de l'Asie Mineure, pays d'origine de cette race de chèvres.

Sur les bords du *Rio de la Plata*, le développement de l'élève des bêtes à laine est plus surprenant encore que sur le territoire de l'Australie. C'est en 1813 que furent introduits à Buenos-Ayres les premiers bons types européens de l'espèce ovine; mais l'essai ne réussit pas. Onze ans plus tard, le Gouvernement importa des moutons anglais et espagnols, qu'il croisa avec les « brebis des pampas », débris des anciennes races amenées au Chili par les Espagnols; ces croisements n'eurent aucun résultat utile. L'élevage ne commença sérieusement qu'en 1826, après l'introduction d'un troupeau de mérinos allemands. Cependant des troubles politiques continuèrent à entraver assez longtemps l'industrie pastorale; les toisons argentines étaient d'ailleurs dépréciées par les chardons ou carétilles qui s'entremêlaient aux fibres de la laine et qu'il fallait enlever à la main au prix d'un travail long, pénible et coûteux.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les importations de laines de la Plata en Europe n'ont pris leur essor que du jour où l'invention de machines propres à débarrasser automatiquement ces laines de leurs impuretés est venue en augmenter la valeur. Entre temps la qualité des produits avait été améliorée par des croisements successifs. La période de 1839 à 1852 fut celle des plus grands progrès. Grâce aux conditions de sol et de climat, les moutons se multiplièrent avec une extrême rapidité; d'abord recherchées pour leur prix modique, les laines argentines ne tardèrent pas à l'être pour leurs mérites réels, et leur vogue prit de telles proportions, que beaucoup d'éleveurs substituèrent l'élevage des moutons à celui du gros bétail, dont la dépouille était d'un placement plus difficile. La statistique des exportations vers l'Europe accusait 944 balles de 400 kilogrammes en 1832, 3,577 en 1840, 17,070 en 1850, 33,270 en 1855, 60,890 en 1860, 144,170 en 1865.

Dans l'*Uruguay*, l'élevage du mouton suivait une progression parallèle et la race s'améliorait par l'introduction des mérinos de Rambouillet et de Saxe. Ce pays expédiait en 1860 6,568 balles de 450 kilogrammes, et en 1865, 31,740 balles, à destination presque exclusive de la Belgique.

En 1867, l'exportation de la République Argentine et de l'Uruguay réunis atteignait 214,310 balles. Dix ans après, elle s'élevait à 291,760 balles; on estimait le nombre des moutons à 60 million pour la République Argentine et à 12 millions pour l'Uruguay. En 1889, ces deux pays ont exporté respectivement 210,800,000 kilogrammes et 40,120,000 kilogrammes [1] de laine; malgré les ravages causés par de fréquentes épidémies, la population ovine de la Plata dépassait 115 millions de têtes.

La République Argentine continue à améliorer la qualité de ses laines. De notables perfectionnements ont été apportés dans l'organisation industrielle des propriétés d'élevage : on peut citer notamment la clôture des domaines, qui évite les pertes de troupeaux et permet de mieux régler le parcours des pâturages.

[1] Y compris les laines de peau.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Dans son prodigieux essor, l'industrie pastorale de l'Australie, du Cap, de la Plata, a depuis longtemps suivi et même devancé les besoins de la consommation européenne. L'élevage n'avait dès lors plus de raison pour se développer sur le sol de l'ancien monde; plusieurs pays, entre autres la France et la Belgique, ont vu leur production lainière rétrograder. Chaque jour, la dépendance des manufactures de l'Europe vis-à-vis des nouveaux pays producteurs s'est accentuée davantage, et l'on en est venu peu à peu à cette immense somme d'échanges de l'Australie, du sud de l'Afrique et de l'Amérique méridionale avec l'Angleterre, la France, l'Allemagne, qui, joints aux États-Unis, transforment les trois quarts de la laine produite sur tout le globe.

Lors de notre première Exposition internationale, en 1855, la France n'importait que 34 millions de kilogrammes de laine en masse. En 1863, l'importation était presque doublée et atteignait 64 millions de kilogrammes environ, dont un quart fourni par les colonies anglaises, un quart par l'Amérique du Sud, et le reste par l'Europe, le Levant et la Barbarie. Depuis, la proportion des arrivages d'outre-mer a continuellement augmenté. Pour ne citer que 1889, l'importation s'est élevée à 185,500,000 kilogrammes de laine en masse, dont 65 millions de la République Argentine, 37,500,000 d'Angleterre, 34,700,000 de Belgique, 12,600,000 de l'Uruguay, 9,650,000 de l'Algérie, 8 millions de la Russie, 4,900,000 de l'Espagne, 4,300,000 de la Turquie, etc. Il y a lieu d'y ajouter le poids des laines de peau et des toisons de moutons importés, soit environ 27 millions de kilogrammes. La plupart des laines d'Australie et du Cap passent par l'Angleterre; celles de la République Argentine et de l'Uruguay arrivent par Dunkerque et par la Belgique. Déduction faite de la réexportation, la France a transformé, en 1889, 170 millions de kilogrammes de laine étrangère, alors que son agriculture lui en fournissait seulement 50 millions.

D'après la dernière statistique décennale dressée par le Ministère de l'agriculture, la population ovine de la France a perdu de 1840 à 1882 plus de 8 millions de têtes : en effet, les dénombrements accusent 32,150,000 moutons pour 1840, 29,530,000 pour 1862 et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

23,810,000 pour 1882 ; le chiffre correspondant à l'année 1889 doit être de 22 millions. Nous avons été, il est vrai, dépouillés en 1871 de l'Alsace-Lorraine ; mais les départements annexés ne comptaient pas plus de 300,000 bêtes à laine, en 1862. Les régions les plus productives sont celles de l'Aisne, d'Eure-et-Loir, de Seine-et-Marne, de l'Oise, de la Somme, de la Marne, de Seine-et-Oise, de la Côte-d'Or, des Ardennes, de l'Eure, de la Seine-Inférieure, des Bouches-du-Rhône, du Loiret, de la Creuse, de l'Indre, de l'Aveyron, du Cher, des Hautes-Pyrénées et de la Haute-Vienne. Si le nombre des moutons a diminué, en revanche le rendement par tête s'est accru : en 1862, il n'était que de 2 kilogrammes de laine en suint ; en 1882, la statistique agricole accuse 2 kilogr. 650.

Le troupeau français laisse encore à désirer. Il se compose pour la plus large part (19 millions de têtes sur 22) des anciennes races suivantes : races artésiennes et berrichonnes, répandues dans le Nord et le Centre, ainsi que sur les côtes de l'Océan, lentes à engraisser, ne fournissant que des laines communes ; races laitières, et spécialement race de Larzac, confinées entre les Cévennes, les Alpes et le plateau central, remarquables pour la production du lait, médiocres au point de vue de la viande et de la laine. Quant aux 3 autres millions d'animaux, ils appartiennent aux races pures (mérinos, south-down, dishley), ou aux races croisées (métis-mérinos donné par le croisement du mérinos avec le mouton indigène du Soissonnais, de la Bourgogne et de la Champagne ; race charmoise, obtenue par le croisement du new-kent avec la race berrichonne ; dishley-mérinos, dû au croisement du new-leicester ou dishley avec le mérinos). Aujourd'hui le rôle du mérinos est limité à la reproduction ; le south-down se recommande pour la chair, mais non pour la laine ; quant à la troisième race pure, celle de dishley, elle atteint vite un poids élevé et porte une toison abondante, propre seulement, comme les laines longues, au peigné. Parmi les races croisées, le métis-mérinos n'est guère recherché que pour son excellente laine ; les résultats donnés par la race charmoise sont très satisfaisants au point de vue de la viande, moins bons au point de vue de la toison ; le dishley-mérinos

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

se développe rapidement et fournit à la fois beaucoup de laine et beaucoup de viande.

Après avoir reconnu qu'en France la production de la viande doit primer celle de la laine, M. Sabatié, rapporteur du jury de la classe 44, pose des principes qui, sauf de légères rectifications, peuvent se résumer ainsi : 1° les anciennes races de moutons grands marcheurs doivent disparaître comme ont disparu les landes qui les nourrissaient; 2° les races laitières n'ont de raison d'être que dans les régions industriellement organisées pour tirer parti de leur lait; 3° les races indigènes des régions pauvres peuvent être améliorées par le croisement avec les races south-down et dishley, et par la sélection; 4° tous les terrains et pâturages riches doivent concourir à la création des races à viande améliorées par le sang dishley ou south-down.

Si la France délaisse peu à peu l'élevage du mouton, sa colonie *algérienne* paraît devoir trouver dans cet élevage, tant au point de vue de la production de la laine qu'au point de vue de la production de la viande, l'un des éléments les plus importants de sa fortune. L'Algérie a un climat qui convient parfaitement à la bête ovine et peut devenir l'Australie de la France.

Avant la conquête, les indigènes entretenaient d'innombrables troupeaux où se mélangeaient toutes les races qui peuplent l'Afrique du Nord. En 1867, le nombre des moutons (la plupart à laine longue) était évalué à 10 millions. Les documents imprimés par le Gouvernement général, lors de l'Exposition, accusent, pour 1878, 8,500,000 têtes; pour 1883, 6,060,000; pour 1887, 10,850,000.

L'exportation de laine a représenté une valeur moyenne annuelle de 16,700,000 francs, pendant la période de 1857 à 1866; de 16,400,000 francs, pendant la période de 1867 à 1876; de 11 millions et demi de francs, pendant la période de 1877 à 1886. En 1889, elle s'est élevée à 19,400,000 francs; la presque totalité des envois était à destination de la France (9,650,000 kilogrammes). Indépendamment de la laine, l'Algérie exporte de plus en plus de bétail vers le midi de la France, où la production de la viande n'est plus en rap-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

port avec la consommation : ce mouvement, commencé en 1851, s'est progressivement accru; en 1889, les statistiques de la douane ont enregistré une sortie totale de 992,000 moutons. Malheureusement la qualité et le rendement en viande des moutons laissent à désirer.

Dès le gouvernement du maréchal Randon, de grands efforts ont été faits pour l'amélioration de la race ovine; on a créé des bergeries modèles, multiplié les reproducteurs, substitué la cisaille à la faucille indigène pour la tonte. Cette initiative n'a pas reçu assez de développements. Il serait à désirer que les colons se préoccupassent davantage des croisements avec le mérinos, qui est robuste, résiste bien aux chaleurs, supporte les alternatives de pénurie et d'abondance, et auquel les conditions générales du pays semblent essentiellement favorables. Le Gouvernement a créé une grande bergerie d'élevage à Moudjebeur et expédie chaque année le trop-plein de Rambouillet en Algérie, où l'on multiplie les stations de monte dans les tribus et chez les colons.

L'exemple de l'*Angleterre* prouve d'une manière frappante que l'élevage du mouton est loin d'être incompatible avec un état très avancé de la culture. C'est un des rares pays d'Europe où le troupeau augmente en dépit d'une population très agglomérée. Le but que se propose l'élevage a seul changé : actuellement la laine lisse, jadis si recherchée, des races anglaises est devenue un produit secondaire; le mouton constitue avant tout un producteur de viande, de beaucoup de viande d'une très bonne qualité. En 1889, on évaluait le nombre des moutons à 29,480,000 et la tonte à 62 millions de kilogrammes, dont un sixième va à l'étranger. La grosse part de la tonte provient d'animaux obtenus par le croisement leicester-down, qui ne donne qu'une laine commune.

Après la France, c'est l'Angleterre qui consomme le plus de laine. Nos voisins vont chercher au loin la majeure partie de leurs approvisionnements; ils ont d'ailleurs attiré sur leur marché d'énormes quantités de laines, provenant surtout de leurs colonies et destinées

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à la réexportation vers la France et les autres pays du continent européen. Leur importation s'est élevée successivement à 4,900,000 kilogrammes en 1820, à 16,150,000 kilogrammes en 1830, à 24,700,000 kilogrammes en 1840, à 37,150,000 kilogrammes en 1850, à 75 millions de kilogrammes en 1865 : ce dernier chiffre comprenait 60 millions de kilogrammes venant des colonies anglaises. En 1888, la valeur des laines arrivées sur le marché britannique a atteint 647,400,000 francs, dont 460,800,000 francs pour les provenances d'Australie, 86,500,000 francs pour les provenances du Cap et le surplus pour les autres provenances; à ce total s'ajoute la valeur des autres laines, alpagas, poils de chèvre, etc. La consommation de 1889, y compris ces dernières laines, peut être estimée à 213 millions de kilogrammes.

La *Russie d'Europe* possédait dès 1846 plus de 45 millions de moutons. En 1878, l'Empire russe avait, tant en Europe qu'en Asie, 65 millions de bêtes à laine, donnant 26 millions de kilogrammes de laines fines et 151 millions de kilogrammes de laines communes. Aujourd'hui il compte un troupeau de 70 millions de têtes : la population ovine s'y est donc encore accrue à la faveur d'immenses pâturages situés dans des régions peu humides, tempérées et très saines.

Nulle puissance européenne n'a de telles ressources. L'Empire russe se place immédiatement après la République Argentine et l'Australie, pour la quantité de laine produite; mais, à l'inverse de ces pays neufs où le mérinos domine, la proportion des bêtes à laine fine ne dépasse pas 1/5. L'industrie locale consomme surtout des laines communes. Parmi les pays étrangers, c'est la France qui consomme le plus de laines russes.

La *Hongrie* est peut-être la région de l'Europe où l'élevage du mouton fin est encore le plus répandu. C'est l'impératrice Marie-Thérèse qui y a introduit les premiers mérinos en 1786. Grâce au climat, au sol, à la rareté de la population, les races fines ont pu se conserver alors qu'elles disparaissaient ailleurs. En 1873, la Hongrie

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

produisait 22 millions de kilogrammes de laine fine, exportée en presque totalité vers la France et l'Allemagne; sa population ovine était évaluée à 15 millions de têtes, dont 4,500,000 mérinos et métis-mérinos. Dans le reste de l'Empire d'*Autriche-Hongrie,* la production de laine ne dépassait pas 6,200,000 kilogrammes. Une importation annuelle de 15 millions de kilogrammes de laines envoyés par la Russie, la Turquie et la Roumanie, s'ajoutait à la laine indigène commune pour alimenter les fabriques locales.

En *Turquie,* les circonstances se prêtent à l'entretien de nombreux troupeaux; mais les laines sont généralement communes. On évalue le produit de la tonte à 40 millions de kilogrammes, dont la moitié environ est exportée. C'est de la Turquie d'Asie qu'est originaire la célèbre chèvre angora, actuellement en voie d'acclimatation dans la colonie anglaise du Cap.

Quant à l'*Espagne,* berceau des mérinos européens, après avoir été pendant des siècles le seul pays possesseur de cette race précieuse et producteur de laine fine en Europe, elle n'a pas su conserver intacte sa vieille réputation d'autrefois. Encore très belle dans certaines régions, la laine perd en général de sa nature et de ses qualités.

Un fait considérable de la seconde moitié du XIX^e^ siècle est l'essor rapide de l'industrie lainière américaine. De nos jours, les *États-Unis* se placent au rang des principaux consommateurs de laine. Les immeubles industriels, destinés à la transformation de la laine, valaient 400 millions au plus en 1860; maintenant ils représentent un capital de 1 milliard et demi. Pendant la même période, la consommation par habitant s'est élevée de 2 kilogr. 250 à 4 kilogrammes.

Jusqu'à ces dernières années, la production indigène a suivi une progression également rapide. La race américaine, dont les premiers individus avaient été importés en Virginie au commencement du XVII^e^ siècle, n'a donné avant le XIX^e^ siècle qu'une laine commune et irrégulière. Mais, vers 1800, les États-Unis ont importé des béliers espagnols, et, à partir de ce moment, leur population ovine s'est tout à la fois améliorée et multipliée. Le troupeau comptait 22 mil-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

lions de têtes en 1860, 35 millions en 1878 et 50 millions en 1883; en même temps, les importations étrangères diminuaient dans une forte proportion, et, vers 1878, par exemple, ne représentaient plus que 28 millions de kilogrammes, contre une production locale de 111,500,000 kilogrammes. Aujourd'hui l'accroissement de la population ovine semble arrêté; une diminution s'accuse même depuis quelques années : ce revirement paraît dû à l'uniformité des laines américaines, qui oblige les manufacturiers à s'approvisionner quand même au dehors, pour les différentes qualités que le troupeau indigène ne fournit pas.

Au total, la statistique agricole de 1882 estimait à 180 millions le nombre des bêtes de la race ovine, pour toute l'Europe, moins la Turquie, et à 240 millions ce nombre pour l'Algérie, les États-Unis d'Amérique, le Canada, la République Argentine, l'Uruguay, le Cap et l'Australie. Par des calculs très vraisemblables, M. Sabatié, rapporteur de la classe 44, arrive au chiffre de 700 millions pour la population ovine du globe en 1889, abstraction faite des immenses régions inconnues de l'Asie et de l'Afrique centrale.

Le produit de la tonte peut être estimé à 1 milliard de kilogrammes; la part afférente à l'Europe continentale est de 200 millions de kilogrammes [1].

4. Plantes oléagineuses. — Les graines oléagineuses, leurs huiles et leurs tourteaux donnent lieu, dans le monde, à l'un des plus importants commerces, au plus important peut-être après celui des substances alimentaires et textiles. Indispensables à l'alimentation de l'homme, les matières grasses le sont également à l'éclairage, au graissage des machines, à la fabrication des savons, des couleurs, des vernis, etc. Si, dans l'origine, la graisse des animaux a pu suffire aux usages les plus essentiels, depuis longtemps elle n'apporte plus qu'un faible appoint à la consommation générale.

[1] Voir, pour les détails de la statistique du commerce extérieur, tome V, page 356 et suivantes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Sur toute la surface du globe, on trouve abondamment répandues les plantes oléagineuses. Dans les pays froids, ce sont le colza, la navette, les moutardes, l'œillette, la cameline, le tournesol, ainsi que le lin et le chanvre, qui, tout en constituant de précieux textiles, donnent des graines très riches en huile; il faut y ajouter, parmi les arbres, le hêtre et le noyer. Les parties les plus chaudes de la zone tempérée ont l'olivier, l'arachide, le sésame, le ricin, le madia, le niger, le cotonnier et plusieurs sortes de cucurbitacées. Dans les climats tropicaux, l'huile est fournie par de nombreuses variétés d'arbres : au premier rang se placent le cocotier, dont l'amande contient jusqu'aux deux tiers de son poids d'huile, le palmiste de Guinée, l'*Aleurites triloba*, le *Bassia longifolia*, etc.; on peut encore citer, à titre de curiosité, le *Pentadesma butyraïca* de la côte occidentale d'Afrique, qui, sous l'action du soleil, laisse échapper de ses graines une assez grande quantité d'huile pour en couvrir d'une couche continue l'eau des rivières. Il y a là des ressources inépuisables, prodiguées par la nature et encore incomplètement exploitées.

L'extraction de l'huile se pratique surtout dans le midi et dans le nord de la France, en Belgique, en Hollande, aux États-Unis et en Russie.

Depuis le milieu du siècle, Marseille est devenu le centre principal de l'industrie des huiles végétales. En 1889, la vieille cité phocéenne a importé (au commerce spécial) 313 millions de kilogrammes de graines et fruits oléagineux, valant 96 millions de francs. Ses fabriques traitent surtout les matières exotiques venant des Indes, de l'Afrique, de l'Amérique; les huiles qu'elles produisent sont en grande partie consommées sur place par les manufactures de savon.

Après le port de Marseille, celui de Dunkerque a également un trafic considérable de matières oléagineuses, pour l'alimentation de nos usines du Nord et même des usines belges.

Les matières premières produites par la France sont les graines de colza, de navette, d'œillette, de cameline, de chanvre, de lin, les olives, les noix, les amandes, les faînes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Voici, d'après la statistique décennale de l'Agriculture en 1882, les chiffres auxquels était évaluée la production française à cette époque :

PLANTES ET ARBRES.	SURFACE DE CULTURE.	PRODUCTION TOTALE EN GRAINES ou en fruits.	QUANTITÉ DE GRAINES OU DE FRUITS convertie par les huileries agricoles.	PRODUCTION EN HUILE.	PRODUCTION en TOURTEAUX.
	hectares.	hectolitres.	hectolitres.	quintaux.	quintaux.
Colza	92,765	1,452,589	492,891	114,090	178,920
Navette	17,595	147,990	77,295	19,648	33,281
Œillette	24,759	383,039	150,123	38,482	54,944
Cameline	1,727	24,111	10,956	2,436	4,120
Chanvre	63,484	329,860	37,916	6,436	12,979
Lin	44,148	252,300	76,397	16,958	29,161
Olivier	//	2,146,314	1,041,837	128,073	263,114
Noyer	//	858,959	329,420	38,065	68,055
Amandier	//	290,909	1,120	169	186
Hêtre	//	59,919	8,076	1,169	2,347
TOTAUX		5,945,990	2,226,031	365,526	647,107

Seules, les quantités de graines ou de fruits convertis en huile par les huileries agricoles figurent au tableau précédent. Il y a lieu de tenir compte en outre des quantités converties dans les établissements industriels : la statistique du Ministère de l'agriculture admet, pour le colza, la navette, l'œillette et la cameline, 1,200,000 hectolitres de graines, donnant 276,000 hectolitres d'huile et 444,000 quintaux de tourteaux.

Le colza est surtout répandu dans l'Ouest et dans l'Est, la navette dans l'Est, l'œillette dans le Nord. J'ai déjà indiqué les centres de culture du chanvre et du lin. L'olivier se confine dans la région méditerranéenne; le noyer se rencontre dans la Drôme, la Charente, la Charente-Inférieure, les Basses-Alpes, le Lot, le Puy-de-Dôme, la Corrèze, la Dordogne, la Gironde, le département d'Indre-et-Loire, etc.

Depuis trente ans, la culture des plantes oléagineuses s'est vue gravement atteinte en France. De 1862 à 1882, la superficie cultivée en colza, navette, œillette et cameline, a diminué de moitié. Cette énorme réduction, qui n'est imputable que pour une faible part

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à la perte de l'Alsace-Lorraine, résulte de causes diverses, notamment de l'usage aujourd'hui si répandu du gaz et du pétrole, ainsi que des énormes importations de graines exotiques; en outre, sur beaucoup de points, le sol était épuisé par les retours trop fréquents de la plante, que compromettait du reste l'apparition d'insectes destructeurs. Des diminutions semblables ont eu lieu dans les pays qui nous entourent.

Pendant l'année 1889, nous avons importé en France plus de 520 millions de kilogrammes de graines et fruits oléagineux. Les plus gros chiffres sont les suivants :

	En millions de kilogrammes.
Arachides (Indes françaises, Sénégal, Indes anglaises, Afrique)...	142
Graine de lin (Indes anglaises, Russie).....	85
Graine de sésame (Indes anglaises, Turquie).....	79
Amandes de coco (Océanie, Indes hollandaises, Indes anglaises)..	50
Graine de moutarde (Indes anglaises).....	39
Graine de coton[1] (Égypte).....	18
Amandes de palmistes (Afrique).....	17.5
Graine d'œillette (Indes anglaises, Turquie).....	17
Graine de ravison (Russie, Roumanie).....	10
Graine de colza (Russie).....	6
Fruits et graines non dénommés (Indes anglaises, Russie, Turquie, Allemagne, Roumanie, Espagne, Philippines).....	56

Notre exportation de graines et fruits oléagineux ne dépasse pas 16 millions de kilogrammes et porte, pour près des deux tiers (10 millions de kilogrammes), sur la graine de colza envoyée en Belgique, en Allemagne et en Danemark. On voit quel énorme stock se transforme en France.

Quant au commerce des huiles, il s'est traduit en 1889 par une importation de 48 millions de kilogrammes et une exportation de 57 millions de kilogrammes. Nous avons notamment importé 20 millions de kilogrammes d'huile de palme (Afrique), 17 millions de kilogrammes d'huile d'olive (Italie, Espagne, Turquie, Tunisie, Grèce, Algérie), 7 millions de kilogrammes d'huile de coton (Angleterre, États-Unis), 1 million et demi de kilogrammes d'huile de coco (Indes

[1] La fabrication de l'huile de coton à Marseille remonte à 1851.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

anglaises), et, d'autre part, exporté dans diverses directions 13 millions de kilogrammes d'huile de coco, 9 millions et demi de kilogrammes d'huile de sésame, 7 millions et demi de kilogrammes d'huile d'arachides, autant d'huile d'olive. Une forte partie des huiles d'olive est destinée à des usages industriels.

Enfin nous recevons de l'étranger 31 millions de kilogrammes de tourteaux et nous lui en fournissons 126 millions.

Bien que les tourteaux ne soient qu'un résidu de la fabrication de l'huile, ils n'en font pas moins l'objet de transactions considérables. C'est qu'en effet leur utilité est grande pour l'agriculture. Composées exclusivement de carbone et d'hydrogène, les huiles et graisses végétales laissent dans les tourteaux la substance organisée et les matières minérales des graines ou fruits oléagineux; on conçoit tout l'intérêt qu'il peut y avoir à rendre cette substance au sol, soit directement sous forme d'engrais, soit indirectement par l'alimentation du bétail, ce qui est préférable : l'animal ainsi nourri s'assimile les parties utiles à son organisme et rend, en fumier ou en purin, les parties non utilisées pour la formation de la chair, de la peau, du poil, de la laine, des cornes, des sabots, des os, du lait, etc. Les agriculteurs anglais sont ceux qui ont le mieux compris la valeur des tourteaux, à ce point de vue : ils ne se bornent pas à employer tous les tourteaux provenant de l'huile que fabrique l'Angleterre avec les graines de ses colonies; ils en importent aussi de grandes quantités de l'Europe continentale, et en particulier de la Russie. En France, l'usage des tourteaux s'est également généralisé, surtout dans la région du Nord, qui en tire parti depuis le milieu du siècle dernier pour la nourriture du bétail. La dernière Exposition a permis de constater, sous ce rapport, de réels progrès; partout on se préoccupe davantage de restituer au sol les éléments que la plante lui a empruntés, de faire de la culture intensive : les recherches et analyses chimiques ont puissamment contribué à ce résultat, en fournissant le moyen de traiter la question tout à fait scientifiquement.

L'*Allemagne* avait, en 1883, 144,500 hectares cultivés en graines

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

oléagineuses (presque tout en colza) et donnant 2,500,000 hectolitres de graines.

En *Autriche-Hongrie*, les dernières statistiques mises à ma disposition accusent une production assez considérable de colza et de navette (1,500,000 hectolitres de graine fournis par 132,000 hectares); les côtes d'Istrie et de Dalmatie possèdent 12,000 hectares d'oliviers, dont le rendement en huile est de 260,000 hectolitres.

La *Belgique* cultive de moins en moins les plantes oléagineuses; le colza ne doit pas y occuper beaucoup plus de 6,000 hectares.

Au delà des Pyrénées, en *Espagne*, c'est l'olivier qui domine; la production d'huile dépasse 1,100,000 hectolitres. Les *Portugais* ont l'olivier et le lin.

La *Grande-Bretagne* n'a pour ainsi dire pas de culture oléagineuse, ce qui ne l'empêche pas de fabriquer beaucoup d'huile avec les graines et les fruits de ses colonies. Parmi les régions où elle prend sa matière première, les *Indes britanniques* tiennent la tête; il n'est peut-être pas de pays au monde qui produise une telle variété de plantes oléagineuses, arachides, lin, sésame, moutarde, œillette, ravison, ricin, etc., sans parler du cocotier, l'une des principales richesses du littoral. Le lin pousse en abondance au *Canada*.

Sur le sol de la *Grèce*, à l'olivier se joignent le lin et le sésame.

En *Italie*, la culture de l'olivier s'étend sur 900,000 hectares et donne annuellement 3,360,000 hectolitres d'huile. On y rencontre aussi diverses plantes oléagineuses, spécialement la navette.

Le colza réussit bien dans les polders des *Pays-Bas*.

Dans l'*Empire russe*, le chanvre et le lin, dont la culture est si étendue, fournissent une grande quantité d'huile. Le tournesol entre aussi pour une forte part dans l'ensemble de la production.

Comme l'Italie, l'Espagne, le midi de la France, l'Istrie et la Dalmatie, les divers États de la *Turquie* produisent de l'huile d'olive.

En 1882, l'*Algérie* récoltait 1,450,000 hectolitres d'olives; la culture du lin y était aussi assez développée.

La côte occidentale d'*Afrique* et particulièrement nos possessions du *Sénégal* sont très riches en arachides et en palmistes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Aux *États-Unis*, la culture du lin est fort abondante, surtout dans la vallée du Mississipi. Dès 1878, les usines extrayaient plus de 300,000 hectolitres d'huile des graines de lin indigène, ainsi que des graines importées. La fabrication des huiles de coton et des huiles de ricin y tient une large place.

Les *Antilles* anglaises et françaises produisent de l'huile de coco.

Enfin la dernière Exposition a mis en lumière les remarquables progrès de la *République Argentine*, au point de vue de la culture des plantes oléagineuses, lin, colza, navette, arachides, ricin, etc. D'après le rapport de M. d'Hont, la superficie ainsi cultivée aurait atteint 2,500,000 hectares, en 1889.

Les statistiques de la douane française (commerce spécial) se résument ainsi qu'il suit, depuis 1827 :

PÉRIODES OU ANNÉES.	GRAINES ET FRUITS OLÉAGINEUX.		HUILE D'OLIVE.		HUILES VÉGÉTALES AUTRES QUE L'HUILE D'OLIVE.	
	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.
	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
1827 à 1830.. (Moyenne.)	10,025,000	475,000	30,130,000	2,370,000	235,000	780,000
1831 à 1840.... (*Idem.*)	15,450,000	430,000	27,100,000	1,960,000	110,000	670,000
1841 à 1850.... (*Idem.*)	33,860,000	790,000	27,330,000	1,590,000	1,250,000	1,250,000
1851 à 1860.... (*Idem.*)	33,450,000	4,020,000	23,700,000	3,130,000	6,890,000	7,250,000
1861 à 1870.... (*Idem.*)	78,770,000	2,600,000	25,180,000	6,820,000	9,320,000	4,240,000
1871 à 1880.... (*Idem.*)	122,240,000	1,740,000	30,960,000	4,620,000	15,840,000	10,430,000
1881.....	173,200,000	1,900,000	34,090,000	5,010,000	25,900,000	14,400,000
1882.....	149,100,000	1,800,000	22,680,000	5,000,000	22,100,000	20,500,000
1883.....	166,900,000	2,000,000	40,760,000	5,260,000	31,800,000	19,100,000
1884.....	165,400,000	2,800,000	29,250,000	8,140,000	26,800,000	22,300,000
1885.....	181,800,000	2,400,000	28,450,000	8,070,000	28,300,000	25,100,000
1886.....	164,800,000	2,500,000	25,220,000	8,690,000	27,900,000	23,500,000
1887.....	133,800,000	2,300,000	26,840,000	8,170,000	16,200,000	25,800,000
1888.....	146,500,000	3,400,000	18,150,000	8,090,000	25,700,000	27,400,000
1889.....	155,300,000	5,200,000	19,190,000	9,600,000	19,100,000	35,200,000

Dans le total de l'importation des graines et fruits oléagineux, les arachides et noix de touloucouna entrent pour 50 millions de francs, les graines de sésame pour 24 millions, les graines de lin pour 22 millions, les amandes de coco pour 17 millions, les graines de moutarde pour 12 millions. Les entrées d'huiles végétales autres que l'huile d'olive comprennent 12 millions de francs d'huile de palme, 5 mil-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

lions d'huile de coton, 1 million d'huile de coco, et les sorties 10 millions d'huile de coco, 7 millions d'huile de sésame, 5 millions d'huile d'arachides, 3 millions d'huile de colza d'Europe, etc.

5. Tabac. — Les progrès incessants de la consommation du tabac constituent l'un des faits saillants de notre époque. Tandis que, dans certaines parties du monde, la production des substances les plus nécessaires à la vie paraît ne se développer qu'avec beaucoup de peine et semble même limiter l'accroissement de la population, on voit pour ainsi dire partout l'usage du tabac se répandre et se généraliser rapidement. De nos jours, la production du tabac en Europe, en Amérique, en Océanie et dans l'Afrique du Nord, dépasse sans aucun doute 600 millions de kilogrammes; les renseignements font défaut pour l'Afrique australe et une grande partie de l'Asie. Cette passion moderne donne naissance à un commerce extrêmement important.

Originaire de l'Amérique, le tabac y était déjà en usage quand les navigateurs européens abordèrent pour la première fois les côtes du nouveau monde. Les Indiens s'en servaient comme d'un spécifique contre certaines maladies; ils le fumaient, soit dans des feuilles enroulées de palmier ou de maïs, soit dans des pipes sculptées en pierre dure.

En toutes choses, les mauvaises pratiques se transmettent plus vite et plus facilement que les bonnes. Aussi les marins espagnols se hâtèrent-ils de copier les Indiens. En 1518, Cortez envoyait à Charles-Quint des graines de tabac; quarante ans plus tard, Jean Nicot, ambassadeur du roi de France auprès du roi de Portugal, en faisait parvenir quelques pieds à la cour de Catherine de Médicis; le cardinal de Sainte-Croix, nonce du pape dans le même pays, l'introduisait à son tour en Italie; l'Angleterre en avait déjà reçu du lieu d'origine. Peu après, la culture de la plante pénétrait jusqu'en Allemagne, en Russie et en Turquie.

D'abord utilisé comme médicament, le tabac ne tarda pas à recevoir sur le sol de l'Europe les mêmes applications que sur le sol de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'Amérique. En Allemagne et en Hollande, on le fumait dans des pipes; en France, on le prisait de préférence. Le commerce, ne trouvant pas encore dans la production locale des ressources suffisantes, allait chercher ses approvisionnements par delà les mers.

Comme le flot montait, certains gouvernements cherchèrent à l'endiguer. Plusieurs recoururent à des mesures radicales : Jacques Ier, roi d'Angleterre, fit pendre haut et court le malheureux Rawlegh, qui avait commis le gros péché d'introduire la pipe dans ses États; le sultan Amurat IV, sans doute pour embellir ses sujets, condamna les priseurs à avoir le nez coupé; l'empereur de Chine, n'y allant pas par quatre chemins, décida que tous les marchands de *yin-ts'ieou* auraient à s'ouvrir le ventre. Peine perdue, cruautés inutiles! Après avoir bien réfléchi, les gouvernements eurent une idée géniale; ils pensèrent qu'au lieu d'étouffer la passion nouvelle, mieux valait l'exploiter et la transformer en une source de revenus pour l'État.

Richelieu fut l'initiateur de l'impôt. Les autres pays s'empressèrent de suivre ce bel exemple.

Le droit de 40 sous sur le cent pesant, établi en 1621 par Richelieu, ne rapportait guère au Trésor que 100,000 à 200,000 livres par an; la perception en était confiée à la ferme générale. Érigée en monopole à partir de 1674, la vente du tabac fut affermée en 1697 à un particulier, moyennant redevance annuelle de 250,000 livres; le prix du bail s'éleva progressivement jusqu'à 4 millions en 1718. A cette époque, la ferme générale reprit le bail, dont le prix toujours croissant atteignait 32 millions de livres en 1790. On estime qu'alors la consommation pouvait être de 7 millions de kilogrammes, vendus en moyenne à raison de 4 livres tournois la livre. Seules, la Flandre, l'Alsace et la Franche-Comté avaient reçu l'autorisation d'entreprendre la culture, et notre marché s'alimentait à peu près exclusivement de tabacs exotiques, travaillés par quatre manufactures royales.

L'Assemblée nationale décréta la liberté de culture et de fabrication, et se contenta de percevoir un droit de douane. Mais un décret de 1810 mit fin à cette situation transitoire, réglementa sévèrement

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la culture et investit l'État du monopole exclusif de l'achat, de la fabrication et de la vente du tabac.

Depuis, la consommation n'a cessé de croître, malgré les relèvements successifs apportés au prix de vente, notamment en 1860 et 1872. Le tableau suivant permet de suivre cette progression :

ANNÉES.	QUANTITÉS VENDUES.
	kilogr.
1815	9,753,537
1820	12,645,277
1830	11,169,555
1840	16,018,495
1850	19,218,406
1860	29,580,668
1870	31,349,131
1880	33,560,461
1885	36,289,101
1886	36,052,343
1887	35,830,891
1888	36,891,886
1889	36,065,788

Il y a lieu de remarquer que le chiffre de 1880 est sensiblement supérieur à celui de 1860, malgré la perte de l'Alsace-Lorraine, dont la consommation était de 1,800,000 kilogrammes un peu avant la guerre.

En 1783, chaque Français consommait, d'après Necker, de 0 kilogr. 320 à 0 kilogr. 375 en moyenne par an : les statistiques ultérieures accusent 0 kilogr. 511 en 1844, 0 kilogr. 800 en 1867, 0 kilogr. 870 en 1878, 0 kilogr. 945 en 1889; le maximum (0 kilogr. 962) correspond à l'année 1884.

Une transformation profonde, mais lente, s'est accomplie en France dans le mode d'emploi du tabac. Nos arrière-grands-pères prisaient plus qu'ils ne fumaient. La pipe, très vite acclimatée chez les peuples du Nord, n'a commencé à acquérir chez nous une certaine vogue que sous le règne de Louis XIV : j'ai déjà dit, d'après Saint-Simon, l'anecdote du Dauphin entrant un jour à l'improviste dans l'appartement des princesses, à Marly, et les trouvant armées de pipes qu'elles

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

avaient envoyé quérir au corps de garde des soldats suisses. Vers 1780, le tabac à fumer n'entrait pas encore pour plus d'un douzième dans le total de la vente.

Bien que la fabrication des cigares en France date de 1816, il s'en fumait à peine 58,600,000 quinze ans après; 779,000 étaient importés directement de la Havane. En 1835, la consommation restait limitée au tabac à fumer et au tabac à priser, dont la vente s'élevait respectivement à 6 millions et à 5 millions de kilogrammes environ. On ne connaissait encore que les cigarettes faites par le fumeur lui-même : la Régie ne devait en fabriquer qu'à partir de 1840.

C'est vers 1850 que les cigares sont entrés en faveur, grâce à des changements heureux réalisés dans leur composition et leur confection, grâce aussi à la généralisation du traitement auquel le *Tonneins* et le *petit Bordeaux* ont dû leur succès. Dès 1861, la Régie vendait 700 millions de cigares (pour le territoire actuel) : les cigares supérieurs entraient dans ce chiffre pour 33 millions. Six ans plus tard, la vente passait à 844,415,500, dont 737 millions et demi à 0 fr. 05; en 1887, elle atteignait 883,456,000, sur lesquels 64,758,000 d'un prix supérieur à 0 fr. 10.

De date plus récente que la fabrication des cigares, celle des cigarettes n'a fait fortune qu'après 1872. Au début, elle portait seulement sur un poids de 4,500 kilogrammes. Le nombre de cigarettes vendues par la Régie ne dépassait pas 7 millions en 1867 et 12 millions en 1872, tandis qu'en 1887, il a été de 830 millions. D'abord confectionnées à la main, comme le sont encore les cigares, les cigarettes ont pu l'être ensuite par des procédés mécaniques. L'Exposition de 1867 montrait un premier essai venu de l'étranger; mais la machine vraiment pratique n'a été trouvée qu'en 1876; des améliorations successives l'ont amenée à un tel degré de perfection qu'elle produit à l'heure jusqu'à 2,000 cigarettes et remplace ainsi quinze ouvrières.

Le *scaferlati* ou tabac à fumer tient de beaucoup le premier rang dans la consommation, dont il forme environ les 70 centièmes en

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

poids et les 60 centièmes en argent : un peu plus de 3 p. 100 de ce tabac est livré en cigarettes. Quant aux autres sortes de tabacs, elles représentent, pour la poudre, 17 p. 100 en poids et 20 p. 100 en argent; pour les cigares, 10 p. 100 en poids et 17 p. 100 en argent; pour les rôles et carottes, 3 p. 100. Voici, du reste, un tableau détaillé de la consommation en 1867, 1878 et 1889 :

SORTES DE TABACS.	1867.	1878.	1889.
	kilogr.	kilogr.	kilogr.
Scaferlati	18,821,000	19,963,374	24,624,683
Poudre	7,955,000	6,976,832	5,869,168
Cigares	4,056,000	3,411,735	3,507,588
Rôles et carottes	1,161,000	1,146,323	1,214,049
Cigarettes	7,000	620,933	850,300
TOTAUX	32,000,000	32,119,197	36,065,788

Ces chiffres sont bien gros, et cependant nous ne sommes pas au niveau de certains pays étrangers. En 1878, on évaluait la consommation par habitant et par an à 1 kilogr. 800 pour l'Allemagne, 1 kilogr. 600 pour les États-Unis, 1 kilogr. 500 pour la Turquie, 1 kilogr. 460 pour l'Autriche, alors que la France arrivait seulement à 0 kilogr. 870; puis venaient la Hongrie (0 kilogr. 860), l'Italie (0 kil. 700), l'Angleterre (0 kil. 600), la Russie (0 kil. 600), etc. Un statisticien fantaisiste (comme il y en a trop) calculait que le tabac consommé annuellement sur toute la surface du globe pourrait donner un rouleau de 0 m. 05 de diamètre, assez long pour faire trente fois le tour du méridien.

Il est bien peu de pays qui ne concourent dans une mesure plus ou moins large à cette énorme production. Quoique né sous les tropiques, le tabac s'accommode des climats les plus différents; on le trouve cultivé jusqu'en Écosse et en Suède. Mais il est loin d'avoir partout la même qualité, et ses feuilles n'acquièrent que dans un petit nombre de régions privilégiées leur maximum de beauté, de finesse et d'arome. En dehors des espèces qui peuvent être qualifiées de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

grands crus, telles que les tabacs de la Vuelta abajo à la Havane et les sortes fines du Brésil, du Levant et des États-Unis, les autres variétés de tabac présentent en général des défauts qui ne permettent pas de les employer isolément. De là, pour les fabricants, la nécessité de recourir à des mélanges ou coupages; de là aussi cette conséquence que, dans les pays ne pouvant produire des tabacs fins (comme la France, l'Allemagne et les Pays-Bas), la culture reste forcément limitée et subordonnée au développement de la consommation locale.

L'*Amérique* est la terre de prédilection du tabac. A lui seul, le nouveau monde fournit la moitié de la production totale. La qualité s'allie d'ailleurs à l'abondance.

Cuba surtout l'emporte sans conteste pour les tabacs fins et parfumés. Il n'est pas exceptionnel de trouver des produits de la Vuelta abajo valant 3,000 à 4,000 francs le quintal. Quelques tabacs de l'Orient sont seuls capables de rivaliser avec ceux de Cuba, au point de vue de la valeur commerciale. En 1878, la récolte annuelle de la Havane était estimée à 125 millions de francs; les fabriques de l'île livraient 1,100 millions de cigares, dont 500 millions destinés à l'exportation (Rapport de M. Vilmorin sur l'Exposition de 1878).

Situés à peu près à la même latitude que Cuba, les États de l'*Amérique centrale* et des régions voisines pourraient prétendre à la production de tabacs analogues. Malheureusement la culture et la préparation y sont peu soignées. Si le Mexique et le Salvador, à l'Exposition de 1878, le Guatémala, à l'Exposition de 1889, ont présenté des cigares indigènes remarquables par leur finesse et leur arome, on ne saurait néanmoins mettre les tabacs de cette partie du nouveau monde en parallèle avec ceux de la Havane.

Depuis longtemps les *États-Unis* tiennent la première place au point de vue de l'importance de la production. Limitée à la Virginie et au Maryland jusque vers le milieu du siècle dernier, la culture s'était déjà répandue dans 8 États en 1840 et donnait annuellement 100 millions de kilogrammes de feuilles. Aujourd'hui elle s'étend sur le territoire de 15 États, et la récolte varie de 200 à 250 millions de kilogrammes. De grands progrès ont été accomplis dans les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

opérations de la culture, dans le séchage des feuilles, dans leur conditionnement : les États de l'Atlantique surtout se sont distingués à cet égard. Les tabacs les plus réputés sont ceux du Kentucky, du Maryland, de la Virginie : ils entrent pour un quart environ dans l'approvisionnement de la Régie française. Dès 1867, l'exportation du tabac en feuilles était de 75 millions de kilogrammes; en 1877, elle atteignait 127 millions de kilogrammes (valant 150 millions de francs); depuis, elle s'est encore accrue. Malgré l'énorme développement de leur fabrication pendant la dernière période de trente ans, malgré l'élévation des droits de douane dont ils frappent les tabacs fabriqués à l'étranger, les États-Unis ont vu grandir l'importation des cigares. New-York et San-Francisco peuvent rivaliser avec Londres, Paris et Rio-de-Janeiro, pour la consommation des cigares de choix.

Le *Brésil* vient immédiatement après les États-Unis au point de vue de l'abondance de la production, et les tabacs de la province de Bahia, qui ne le cèdent en qualité qu'à ceux de la Havane, font l'objet d'une exportation considérable.

Parmi les autres États de l'*Amérique du Sud*, le Paraguay seul exporte beaucoup. Tous ces États alimentent la consommation locale par leur culture. La fabrication porte principalement sur les cigarettes : c'est à Buenos-Ayres qu'elle a pris le plus grand développement.

La culture du tabac est partout libre en Amérique : les gouvernements n'ont jugé à propos ni de monopoliser la fabrication, ni d'entraver par des règlements ou par des taxes l'une des productions les plus fructueuses pour le pays. En Europe, au contraire, ce ne sont qu'entraves, réglementations et impôts. La France, l'Autriche, la Hongrie, l'Espagne, l'Italie, le Portugal, la Roumanie, la Serbie, la Turquie, ont fait de la fabrication un monopole d'État; les nations qui n'en dépouillent pas l'industrie privée la grèvent d'impôts extrêmement lourds : sous des formes diverses, certains gouvernements tirent des droits sur le tabac le plus clair de leur revenu.

En *France*, depuis que la fabrication est devenue un monopole exploité par l'État, la culture ne peut plus se faire qu'avec l'autori-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sation et sous la surveillance de l'administration compétente. Les matières premières employées par la Régie proviennent, partie de la culture indigène, partie de la culture étrangère (en moyenne deux tiers de feuilles indigènes contre un tiers de tabacs étrangers).

On peut diviser les produits nationaux en deux catégories bien distinctes : les tabacs corsés (Nord, Lot, Ille-et-Vilaine), peu ou point combustibles, spécialement réservés pour les sortes à priser et à chiquer, et d'autre part les tabacs légers (Savoie, Isère, Gironde, Dordogne, départements de l'Est), pour cigares et scaferlati. Ces tabacs sont fort médiocres; néanmoins ils reviennent plus cher que maint tabac étranger de meilleure qualité. Leur proportion dans les mélanges ne pouvant dépasser certaines limites sans une dépréciation excessive des produits, il faut nécessairement borner le nombre et l'étendue des permissions de culture, suivant les besoins de la consommation.

Aujourd'hui la culture est pratiquée dans 22 départements; avant 1870, elle ne l'était que dans 18 départements, parmi lesquels ceux de l'Alsace-Lorraine, qui fournissaient à eux seuls près de la moitié du contingent. La production, après s'être élevée de 12 millions de kilogrammes en 1855 à 22,800,000 kilogrammes en 1867, fléchit à la suite des événements de 1870 et tomba à 8,500,000 kilogrammes en 1879. Depuis 1880, elle a pu se relever au point de fournir 22,673,000 kilogrammes en 1887.

La Régie effectue des achats assez importants en Algérie : 1,600,000 kilogrammes en 1867, 2 millions de kilogrammes environ en 1878 et 2,768,000 kilogrammes en 1888. On sait que la culture et la fabrication sont libres dans notre colonie africaine. Répandue chez les Arabes avant la conquête, la production du tabac ne s'est introduite dans les cultures européennes qu'en 1844 et n'y a pris d'extension que vers 1873 : la récolte de 1878 était évaluée à 5 millions de kilogrammes.

Quant aux achats de tabacs exotiques, ils montaient à 12 millions de kilogrammes en 1867 et à 20 millions de kilogrammes en 1878; leur maximum a été de 27,976,000 kilogrammes en 1881; on est

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

redescendu à 14,750,000 kilogrammes en 1887. Ces achats se composent, pour les deux tiers, de tabacs des États-Unis, destinés à entrer en mélange dans les produits ordinaires et supérieurs, et, pour le surplus, de tabacs de Hongrie, du Levant et de la Havane, formant les produits spéciaux, ainsi que de tabacs du Brésil, de Java et de Sumatra, uniquement employés à la confection des cigares étrangers et supérieurs.

Les tabacs à fumer, à priser et à chiquer, mis en vente par l'État, sont pour ainsi dire exclusivement de fabrication nationale; en ce qui concerne les cigares, il n'y a d'exception que pour les provenances de luxe de la Havane et de Manille : la vente des cigares d'origine étrangère par la Régie a commencé en 1830.

Le nombre de variétés différentes de tabacs fabriquées par la Régie et offertes au public s'est notablement accru depuis 1835, date importante dans l'histoire de nos manufactures nationales, en raison de l'enquête parlementaire qui prépara la loi du 12 février [1]. Cette enquête révéla 13 variétés de tabacs en poudre, 9 variétés de rôles et carottes, 13 variétés de scaferlati, 5 variétés de cigares. Lors de l'enquête de 1875-1876, il y avait 10 variétés de tabacs en poudre, 7 variétés de rôles et carottes, 17 variétés de scaferlati, 14 variétés de cigares, 33 variétés de cigarettes ordinaires et 19 variétés de cigarettes en tabac du Levant.

Un fait mérite d'être particulièrement remarqué : c'est l'extrême multiplication des types de cigarettes. Assez longtemps bornées à un seul module (cigarettes à bouquin en scaferlati ordinaire ou en maryland), les cigarettes comprennent aujourd'hui de nombreuses variétés dont les plus répandues (cigarettes façon havanaise en scaferlati ordinaire ou supérieur) sont entrées dans la circulation en 1872.

[1] Auparavant, la loi du 28 avril 1816, conçue dans un esprit absolument protectionniste, fixait aux 5/6 le minimum de la part des tabacs indigènes dans les approvisionnements de la Régie. Plus libérale, la loi du 12 février 1835 limita cette proportion aux 4/5 et autorisa le Ministre des finances à répartir en conséquence les autorisations de culture, ainsi que les demandes annuelles aux centres de production. Depuis 1835, la Régie a eu soin de varier la quote-part des tabacs indigènes dans les différentes fabrications, de manière à satisfaire au goût des consommateurs.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Parmi les actes qui ont concouru à augmenter le nombre des variétés de tabac, on peut citer la fabrication de scaferlatis et de rôles à prix réduit pour les troupes des armées de terre et de mer, à partir de 1853; l'introduction, entre 1865 et 1868, de divers types de scaferlatis et de cigarettes, faits avec les crus les plus estimés du Levant; la création de variétés nouvelles à la suite des lois de 1871 et 1872, élevant les prix de vente (tabac à priser supérieur, scaferlati supérieur, cigares à 7 centimes et demi, etc.).

Les procédés de fabrication ont reçu de nombreuses améliorations depuis les débuts de la Régie. Peu à peu, les machines se sont substituées aux ouvriers et aux ouvrières pour la confection de la poudre, des scaferlatis, des rôles et, en dernier lieu, des cigarettes. Des perfectionnements ont été apportés aux manipulations qu'exigent les cigares; la fabrication entièrement mécanique de la poudre à priser se fait maintenant à l'abri de l'air; des appareils de torréfaction mécanique ont remplacé l'ancienne torréfaction à bras et permettent d'éviter plus complètement la fermentation du tabac à fumer.

Durant la période de soixante-dix-sept ans qui s'étend de 1811 à 1887, l'État a réalisé une recette totale de 12,787,337,876 francs et un bénéfice de 9,688,392,661 francs. Les quantités vendues annuellement ont triplé pendant cette période; le bénéfice réel s'est accru dans la proportion de 1 à 9 ou 10 : en 1887, il atteignait 301,400,000 francs. Cet accroissement du bénéfice réel tient aux majorations successives du prix de vente, à la création d'un grand nombre de produits de luxe, à l'abaissement des prix de fabrication, grâce aux progrès de l'outillage et des procédés. Si, par exemple, on rapproche les années 1816 et 1884, le résultat de la comparaison est le suivant :

PRIX ET BÉNÉFICE.	1816.	1884.
	fr. c.	fr. c.
Prix moyen de vente du kilogramme	5 34	10 38
Prix moyen de revient du kilogramme	2 12	1 97
Bénéfice moyen par kilogramme	3 22	8 41

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Il est juste de reconnaître que les manufactures françaises ont reçu une direction fort habile. Leur influence se fait sentir dans le monde entier.

L'*Allemagne* produit, surtout dans le Palatinat, un tabac dont les feuilles sont assez recherchées comme enveloppes ou capes de cigares. Elle compte de nombreuses manufactures de cigares, où la fabrication se fait en général, soit à la machine, soit dans des moules.

En *Autriche*, la Régie rivalise avec l'administration française, tant pour la qualité que pour la quantité des produits livrés par ses manufactures. L'industrie et la vente des tabacs y sont monopolisées depuis le XVII^e^ siècle; l'État a retenu ce monopole entre ses mains, à partir de 1784. Peu importante, la culture est limitée au sud du Tyrol et à la Galicie; les fabriques s'alimentent surtout par les achats de feuilles hongroises (20 millions de kilogrammes environ) et de feuilles exotiques (8 à 10 millions de kilogrammes).

La *Hongrie* cultive un tabac renommé; elle approvisionne la Régie autrichienne en même temps que la Régie hongroise, et exporte une partie de ses produits vers l'Allemagne, la France et l'Italie.

Malgré leur faible étendue, la *Belgique* et la *Suisse* occupent une grande place en Europe, par les quantités de tabac qu'elles fabriquent et livrent à la consommation. Leur spécialité consiste dans la confection de cigares à bon marché. Cependant la Belgique a entrepris, il y a quinze ans environ, la fabrication de cigares fins avec du Havane, comme intérieur, et du Mexique, comme cape; ces cigares ont une vogue légitime.

L'*Espagne* a prohibé la culture du tabac et érigé la fabrication en monopole dès 1760. C'est principalement à ses colonies, à Cuba, aux îles Philippines, qu'elle doit son vieux renom : le monopole, longtemps exploité aux îles Philippines par le Gouvernement espagnol, est aujourd'hui aboli; cette mesure a imprimé un vif essor à la production ainsi qu'à la fabrication des cigares.

En *Angleterre*, la culture est interdite et la fabrication locale tire ses matières premières de l'étranger.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La *Grèce*, la *Roumanie*, la *Serbie*, produisent des tabacs très analogues aux tabacs turcs. Mais leur récolte n'est pas très abondante : celle de la Roumanie doit osciller autour de 3 millions et demi de kilogrammes; en 1887, la Grèce exportait 3,280,000 kilogrammes, constituant la plus grande partie de sa production.

L'*Italie* est un des pays à monopole d'État. Toutefois, de 1869 à 1884, le Gouvernement n'a pas exploité lui-même ce monopole; il s'en est déchargé sur une société dite *Régie coïntéressée des tabacs*, qui avait le privilège exclusif de la fabrication et de la vente, moyennant une redevance annuelle et la participation du Trésor aux bénéfices. A partir de 1884, l'État a repris la gestion directe. La Régie fait largement appel aux tabacs étrangers. En 1876, la consommation s'élevait à 18,400,000 kilogrammes (15 millions fournis par les États-Unis, 2 millions et demi par la Hongrie, et le surplus par le Brésil, Saint-Domingue, la Turquie, etc.).

Dans les *Pays-Bas*, la fabrication et le commerce jouissent d'une liberté complète et ont pris beaucoup d'extension; il y existe de nombreuses manufactures, que la production indigène (4 à 5 millions de kilogrammes) ne suffit point à alimenter et qui vont chercher leur matière première aux Indes néerlandaises, au Brésil, aux États-Unis, à la Havane, pour en réexporter une quote-part importante après fabrication. Java et surtout Sumatra, dont les récoltes réunies atteignent 12 millions de kilogrammes, fournissent des feuilles incomparables pour capes de cigares.

Très développée en *Russie*, la culture du tabac s'y fait librement. On évalue la récolte annuelle à près de 60 millions de kilogrammes. Les meilleures qualités viennent de Bessarabie et de Crimée; ces provinces donnent des tabacs fins analogues aux tabacs turcs. Malgré son énorme production, la Russie doit s'alimenter de tabacs étrangers, notamment en Turquie. La fabrication des cigarettes à la main y a atteint une perfection remarquable.

Les tabacs du *Levant*, dont la vogue, assez récente dans les pays occidentaux, s'accuse chaque jour davantage, doivent leur qualité aussi bien au climat qu'aux soins donnés par les cultivateurs à la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

récolte, à la dessiccation et à l'emballage des feuilles. Parmi les plus réputés se placent ceux de la Macédoine (giubeck, dont les prix dépassent parfois ceux des meilleurs tabacs de la Havane), de l'Anatolie, de la Syrie. On estime la production à 20 ou 25 millions de kilogrammes; la Régie ottomane en consomme la majeure partie pour sa fabrication.

Dès le XVII^e^ siècle, le tabac était cultivé aux *Indes anglaises*, comme en *Chine;* la culture semble avoir été introduite au *Japon* par les Portugais, vers la même époque, et l'usage de fumer y est devenu général. Ces pays comptent peu au point de vue de l'exportation; toutefois les Indes, qui produisent des tabacs médiocres et à bon marché, en ont fourni parfois une certaine quantité à la Régie française.

La consommation croissante de l'*Australie* s'était, jusqu'à une date récente, uniquement alimentée en tabacs fabriqués aux États-Unis. De grandes manufactures existent aujourd'hui dans la Nouvelle-Galles du Sud et travaillent des tabacs indigènes et américains.

Il me reste à donner la récapitulation sommaire des mouvements de notre commerce extérieur depuis 1827 :

PÉRIODES OU ANNÉES.	TABAC EN FEUILLES OU EN CÔTES.		TABAC FABRIQUÉ.	
	IMPORTATION.	EXPORTATION.	IMPORTATION.	EXPORTATION.
	francs.	francs.	francs.	francs.
1827 à 1830..... (Moyenne.)	6,060,000	155,000	40,000	132,000
1831 à 1840..... *Idem.*	11,530,000	136,000	500,000	271,000
1841 à 1850..... *Idem.*	21,660,000	493,000	2,610,000	1,000,000
1851 à 1860..... *Idem.*	18,680,000	740,000	3,625,000	1,550,000
1861 à 1870..... *Idem.*	17,720,000	510,000	7,280,000	1,490,000
1871 à 1880..... *Idem.*	26,590,000	317,000	4,110,000	1,470,000
1881.....	29,250,000	277,000	2,940,000	1,710,000
1882.....	27,420,000	187,000	4,010,000	2,080,000
1883.....	35,340,000	157,000	4,050,000	1,620,000
1884.....	30,780,000	35,000	5,940,000	1,270,000
1885.....	30,000,000	83,000	2,350,000	1,180,000
1886.....	32,150,000	75,000	1,090,000	1,700,000
1887.....	19,980,000	222,000	2,690,000	1,640,000
1888.....	17,990,000	71,000	2,660,000	990,000
1889.....	15,370,000	59,000	4,040,000	1,210,000

Les principaux pays de provenance sont, pour les tabacs en feuilles, les États-Unis et bien loin derrière eux l'Algérie, le Brésil, les Pays-Bas, la Turquie, la Hongrie, la Russie, l'Alsace-Lorraine; pour les

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tabacs fabriqués, les possessions espagnoles d'Amérique, la Suisse, la Belgique. Notre exportation de tabacs fabriqués est dirigée vers l'Allemagne, la République Argentine, l'Indo-Chine française, la Belgique, etc.

6. Houblon. — Le houblon n'a pas d'autre usage que celui qui lui est attribué dans la fabrication de la bière. Il paraît nous venir de la Russie, où on le rencontre à l'état sauvage dans les montagnes de l'Oural et dans le Caucase. Son introduction en Flandre et en Angleterre remonte à l'an 1500; l'Alsace n'en a entrepris la culture que vers la fin du siècle dernier.

C'est naturellement dans les pays où la brasserie a le plus d'activité que se développe surtout la production du houblon. Si les fruits de cette plante ont l'avantage de représenter une très grande valeur sous un poids limité, en revanche elle exige des soins minutieux; la récolte est incertaine; les prix sont sujets à des fluctuations considérables.

En France, vingt-deux départements, principalement groupés dans le Nord et l'Est, cultivent le houblon sur une surface de 3,900 hectares environ. La production dans le monde entier peut être évaluée comme il suit :

PAYS.	SURFACE CULTIVÉE.	PRODUCTION.
	hectares.	quintaux.
France	3,135	41,000
Allemagne	47,390	288,800
Autriche-Hongrie	13,010	59,160
Belgique	4,185	58,590
Danemark	240	1,450
Grande-Bretagne	28,290	285,000
Pays-Bas	210	2,250
Russie	2,000	15,000
Suède et Norvège	70	300
Suisse	55	300
États-Unis	19,990	170,000
Australie	1,000	14,000
Autres pays	//	500
TOTAUX	120,300	936,350

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Presque partout, on constate une progression notable, due aux fléaux qui ont ravagé les vignobles et à l'accroissement éprouvé par la consommation de la bière.

Au cours de l'année 1889, nous avons importé 3,145,000 kilogrammes de houblon, valant 6,605,000 francs; notre exportation n'a été que de 1 million de kilogrammes, valant 1,500,000 francs.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE V.

PRODUITS CHIMIQUES ET PHARMACEUTIQUES[1].

1. Observations préliminaires. — Il est impossible de fixer la date des premières opérations chimiques. Ce que l'on sait, à n'en pouvoir douter, c'est que les vieilles civilisations connaissaient déjà la préparation d'un certain nombre de réactifs, l'extraction des métaux, leur alliage, la fabrication du verre, des objets céramiques, des ciments, du savon, l'élaboration et l'emploi de diverses couleurs d'origine végétale, la fermentation des sucs de fruits, etc. Chez les Indiens comme chez les Chinois, chez les Égyptiens comme chez les Phéniciens et les Hébreux, l'esprit d'observation suppléait au défaut de notions théoriques.

Entre les recettes des anciens et la chimie scientifique moderne se place l'alchimie, qui a vécu depuis les premiers siècles de l'ère chrétienne jusqu'à la fin du XVIII^e^ siècle. L'alchimie avait pour but essentiel la recherche de la transmutation des métaux et la découverte d'une panacée. Trop souvent adultérée de charlatanisme, elle n'en a pas moins contribué à poser les premiers jalons des sciences expérimentales.

Dans son introduction à l'*Encyclopédie chimique*, M. Fremy consacre des notices fort intéressantes aux principaux savants qui ont précédé Lavoisier. Ce sont d'abord des Arabes du VIII^e^ et du IX^e^ siècle, comme Djafar (Geber), Rhasès et Avicenne; puis Albert le Grand, l'un des hommes les plus distingués du XIII^e^ siècle; Roger Bacon (1214-1294), dont les travaux, dirigés surtout vers les applications des mathématiques à la physique et à la mécanique, comprirent néanmoins des ob-

[1] Voir *infra*, treizième partie, chapitre IV, *Matériel des arts chimiques.*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

servations chimiques importantes; Basile Valentin, moine du xv^e^ siècle, qui prépara l'acide sulfurique en traitant le soufre par l'acide nitrique; Eck de Sulzbach, auquel on doit la démonstration de l'accroissement de poids des métaux soumis à la calcination; Paracelse, qui, au xvi^e^ siècle, fut considéré comme le chef de la médecine chimique et forma de nombreux élèves; Bernard Palissy, auteur d'un traité des sels, d'études sur leur cristallisation, de recherches sur les engrais; le médecin Van Helmont, l'un des fondateurs de la méthode expérimentale, le précurseur de la chimie pneumatique; Robert Boyle (xvii^e^ siècle), adversaire acharné des alchimistes, inventeur de la distinction précise entre les mélanges et les combinaisons; Glauber, qui donna son nom au sulfate de soude; Kunckel, ennemi résolu de l'alchimie, célèbre par sa découverte du pourpre de Cassius, promoteur de la médecine basée sur l'emploi des composés métalliques; Homberg, qui enseigna la chimie au Régent et se livra à d'intéressants travaux sur la saturation des acides par les alcalis; Jean Rey, continuateur de Sulzbach; Jean Mayow, dont les ouvrages publiés à Oxford en 1674 révèlent d'admirables études, notamment sur l'air atmosphérique; Joseph Black (xviii^e^ siècle), réputé pour ses travaux sur les corps aériformes; Stahl, médecin du roi de Prusse, père de la théorie du phlogistique; Margraff, qui trouva l'extraction du sucre de betterave; le Suédois Bergmann, professeur de mathématiques, de métallurgie et de chimie, à qui revient l'honneur d'avoir soigneusement étudié l'acide carbonique, donné d'excellents principes d'analyse qualitative et quantitative, etc.

Nous voici au seuil de la grande époque scientifique. Scheele, doué d'un véritable génie, multiplie ses découvertes dans la chimie générale, la chimie analytique, la chimie minérale et la chimie organique; il analyse l'air, trouve l'acide fluorhydrique, le vert de Scheele, le chlore, plusieurs acides organiques, la glycérine. Priestley fonde la chimie pneumatique, emploie pour la première fois la cuve à mercure, découvre neuf gaz, reconnaît l'action purifiante des végétaux sur l'air vicié par la respiration des animaux et par la combustion. Ingen-Housz, Sennebier et Théodore de Saussure poursuivent sur ce dernier point les recherches de Priestley.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Enfin apparaît Lavoisier (1743-1794) et avec lui la grande révolution opérée dans les sciences physico-chimiques. Lavoisier renverse la théorie du phlogistique, établit par l'analyse et la synthèse la composition réelle de l'air et de l'eau, donne des idées précises sur les corps neutres, les corps composés, les matières créées par l'organisme, les acides, les oxydes, les sels, annonce la décomposition certaine de la potasse, de la soude, de la chaux, de l'alumine, fait la théorie de la combustion, de la respiration, de la chaleur animale, pose le principe de l'analyse élémentaire des corps organiques, crée la véritable méthode chimique, en prouvant comment la composition d'un corps doit être sûrement déterminée par l'analyse et la synthèse, démontre nettement que, dans les réactions chimiques, tout se borne à un déplacement de matière, à un groupement nouveau de molécules. La chimie scientifique, la chimie actuelle est due aux travaux de Lavoisier, dont l'œuvre demeure encore intacte.

Cavendish étudie l'acide carbonique, l'hydrogène, l'acide nitrique; Bayen, la réduction des oxydes sous la seule influence de la chaleur. Guyton de Morveau prépare la nomenclature chimique, en donnant aux différents corps des noms qui rappellent leur composition et leurs propriétés caractéristiques : son mémoire, présenté à l'Académie des sciences, va entre les mains d'une commission formée de Lavoisier, Fourcroy et Berthollet, qui crée la nomenclature. H. Davy conquiert sa réputation par des expériences sur le protoxyde d'azote (gaz hilarant), applique à l'analyse chimique la pile découverte en 1800 par Volta, pressent la théorie électro-chimique, parvient à décomposer plusieurs alcalis et à isoler les métaux alcalins, imagine la lampe qui a rendu tant de services aux ouvriers des mines en les protégeant contre les dangers d'explosion du grisou, prouve la simplicité du chlore.

A l'époque où Lavoisier posait les bases de la nouvelle chimie, Wenzel faisait voir que, lorsque deux sels neutres se décomposent réciproquement, la neutralité se maintient. De là découlait la loi de l'équivalence, développée vingt ans plus tard par Richter. Dalton précisa en 1807 la loi des proportions multiples : dans les diverses

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

combinaisons d'une substance avec un poids déterminé d'une autre substance, les quantités pondérables de la première sont en rapport rationnel et commensurable.

Faraday s'illustre, non seulement en physique, mais aussi en chimie, par la liquéfaction des gaz et les applications de l'électricité aux décompositions des sels. Becquerel père combat avec succès la théorie du contact de Volta et montre tout le parti qu'on peut tirer des actions électro-chimiques lentes. Berthollet analyse l'ammoniaque, expérimente le blanchiment des étoffes par le chlore, découvre l'acide chlorique, publie un ouvrage remarquable sur les matières colorantes, la teinture, les mordants, ainsi qu'un traité magistral de statique chimique. Gay-Lussac, physicien éminent, se place aussi au premier rang des chimistes; il établit que, dans les combinaisons de gaz, les volumes des gaz élémentaires sont en rapport numérique simple entre eux et avec celui du gaz composé; il attache son nom à l'un des perfectionnements les plus considérables introduits dans la fabrication de l'acide sulfurique; il met le sceau à sa réputation par la découverte du cyanogène. On sait les beaux travaux de Thénard sur la chimie générale et sur divers points de la chimie minérale et organique; il collabore longtemps avec Gay-Lussac, trouve l'eau oxygénée. L'œuvre capitale de Berzélius est la détermination du poids atomique des corps simples. Fourcroy met en lumière l'intérêt que présentent les recherches de chimie appliquées à la physiologie et à la médecine; Vauquelin, son ami et son élève, découvre le chrome et procède à de longues recherches, tant sur le règne végétal que sur la chimie animale.

Ensuite ce sont Laugier, analyste de premier ordre; Berthier, l'un des créateurs de la minéralogie synthétique, auteur de travaux sur le fer hydraté, le fer carbonaté, le phosphore, les combustibles, véritable initiateur pour les applications de la chimie minérale à la métallurgie, à la minéralogie et à l'agriculture; Wollaston, dont les efforts ont eu principalement pour objet la préparation du platine et qui publia en 1814 un important ouvrage sur l'échelle des équivalents chimiques; Dulong, si connu pour ses belles observations relatives à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'action de certains sels solubles sur les sels insolubles et pour ses travaux sur le chlorure d'azote; Ebelmen, qui résolut de nombreux problèmes concernant la minéralogie, la géologie et la métallurgie (affinage de la fonte, décomposition des roches, production artificielle des minéraux et des pierres précieuses); Regnault, chimiste savant et physicien illustre; Rivot, dont l'œuvre se résume dans un traité de docimasie; Pelouze, qui trouva la loi des acides pyrogénés; Braconnot (recherches sur les acides des plantes, sur le tissu ligneux, sur l'acide pyrogallique); Liebig, dont le champ d'action fut immense et à qui l'on est redevable de la fabrication des engrais artificiels; Mitscherlich, le père de l'isomorphisme; Magnus, Graham, Henri Rose; Laurent et Gerhardt, qui au principe dualistique de Lavoisier opposèrent le système unitaire; la pléiade des pharmaciens chimistes, Döbereiner, Pelletier, Robiquet, Soubeiran, Sérullas, Millon, Boutron.

Trois noms glorieux se détachent dans les annales de la chimie organique, ceux de Chevreul, Dumas, Wœhler. Chevreul, qui vit passer plusieurs générations, s'illustra à tout jamais par ses découvertes sur les corps gras, sur les matières colorantes, sur l'analyse immédiate, etc. Dumas enrichit la science de nombreuses études relatives notamment aux substitutions, à la densité des vapeurs, aux amides, à l'esprit de bois. Wœhler éleva un monument impérissable à la chimie minérale, comme à la chimie organique.

J'arrive aux contemporains, aux vivants d'hier ou aux vivants d'aujourd'hui : Béchamp, Berthelot, Baeyer, Bouchardat, Bouis, Bourgoin, Boussingault, Boutlerow, Brodie, Bunsen, Bussy, Cahours, Cannizzaro, Caron, Caventou, Chancel, de Clermont, Cloëz, Corenwinder, Crafts, Crookes, Debray, Dehérain, Demarçay, Dessaignes, Ditte, Etard, Favre, Fouqué, Frankland, Fremy, Friedel, Gal, Gauthier, Gélis, Gernez, Aimé Girard, Charles Girard, Girardin, Graebe, Grandeau, Grimaux, Hautefeuille, Henninger, Hofmann, Houzeau, Jacquelain, Joly, Jungfleisch, Kékulé, Kuhlmann, Ladenburg, Lauth, Leblanc, Lecanu, Lecoq de Boisbaudran, Lemoine, Lieben, Liebermann, Liès-Bodart, de Luca, de Luynes, Malaguti, de Marignac, Maumené, Melsens, Mendéléjeff, Moissan, Ogier, Pasteur, Payen,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Péligot, Personne, Persoz, Pierre, Piria, Reboul, Reiset, Riban, Riche, Roscoë, Sainte-Claire Deville, Salet, Scheurer-Kestner, Schlœsing, Schönbein, Schützenberger, Stas, Silva, Terreil, Paul Thénard, Troost, Urbain, Williamson, Willm, Würtz, Zinin, etc.

Ce court hommage à des savants illustres ou distingués m'a paru devoir prendre place en tête du compte rendu de l'exposition des produits chimiques : il n'est point en effet de science qui ait accompli plus de progrès que la chimie, ni qui ait honoré davantage le siècle écoulé.

2. Grande industrie chimique. — a. *Acide sulfurique.* — L'*acide sulfurique* se place au premier rang parmi les produits chimiques; on a dit avec raison que « la consommation qui en est faite dans un pays « peut donner, comme celle du fer, la mesure de l'activité indus- « trielle ». Son prix peu élevé, son énergie chimique, la faible volatilité de son hydrate, lui assurent un large emploi. S'il a perdu du terrain, du côté de la fabrication de la soude, il s'est en revanche ouvert de vastes débouchés dans la fabrication des engrais phosphatés. En 1878, M. Troost estimait la consommation de l'Europe à 850,000 tonnes, dont 500,000 pour l'Angleterre et 150,000 pour la France.

Un alchimiste persan, Abou-bekr Alhrases (x^e^ siècle) a mentionné pour la première fois l'acide sulfurique; Basile Valentin indiqua plus tard des procédés de préparation; mais les chambres de plomb ne furent inaugurées qu'en 1746 par l'Angleterre et en 1766 par la France. Clément et son beau-père Désormes imaginèrent en 1793 la substitution de la méthode continue à la méthode intermittente et créèrent la théorie de l'oxydation subie par l'acide sulfureux au contact de l'air. Holcker, M. Kestner, Gay-Lussac, MM. Perret frères, réalisèrent ensuite des perfectionnements notables.

La fabrication industrielle de l'acide sulfurique se divise en deux phases : production du gaz acide sulfureux, soit avec du soufre, soit avec des pyrites; transformation de l'acide sulfureux en acide sulfurique.

Dans les pays où l'on brûle encore du *soufre*, c'est toujours le soufre

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de Sicile qui alimente les usines, du moins en Europe. En 1867, M. Balard, rapporteur du jury, signalait les conditions tout à fait défectueuses dans lesquelles était extrait et exploité le minerai des solfatares de Sicile : pendant de longues années, les propriétaires des gisements avaient eu recours à un procédé barbare d'exploitation, consistant en la formation de petites meules de minerai, auxquelles ils mettaient le feu par le haut, pour recueillir par le bas le soufre fondu; cette méthode, qui obligeait à brûler la plus grande partie du soufre, faisait place à l'emploi des calcarones, sortes de fours imaginés par M. Tucci et réduisant au quart la proportion du soufre perdu par la combustion. Malgré l'amélioration incontestable ainsi obtenue, le rapporteur reprochait à la nouvelle méthode d'être encore trop peu économique et de donner lieu à des dégagements d'acide sulfureux, aussi nuisibles pour l'hygiène de la région que pour l'agriculture. Aujourd'hui, comme en 1867, ce sont les calcarones qui servent presque exclusivement à isoler le soufre de sa gangue : le maintien d'une pratique si fâcheuse se justifie par le prix élevé du bois et du charbon en Sicile. Les pertes d'extraction et d'exploitation ne permettent en définitive de retirer que 25 p. 100 du soufre contenu dans le gisement.

Dans les Romagnes et en Silésie, où le charbon coûte moins cher, on pratique la séparation par la vapeur d'eau sèche. M. Lequin, rapporteur du jury de 1889, mentionne aussi quelques autres procédés et cite en outre, comme sources de soufre, les matières provenant de l'épuration du gaz, ainsi que l'hydrogène sulfuré dû au traitement des marcs de soude.

Pour transformer le soufre en acide sulfureux, on le brûle dans des fours convenablement aménagés. Ces fours produisent en même temps les composés nitreux nécessaires au service des chambres de plomb : il suffit d'y introduire à cet effet un mélange d'azotate de sodium et d'acide sulfurique.

La consommation du soufre va sans cesse croissant, par suite de l'extension de ses usages pour le traitement de la vigne, pour la fabrication du sulfure de carbone, du sulfo-carbonate de potasse, du

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

caoutchouc vulcanisé, des allumettes, etc. Aussi l'industrie de l'acide sulfurique le remplace-t-elle de plus en plus par les *pyrites* (sulfures de fer et de cuivre).

On rencontre des pyrites en Norvège (à Wigsnaës), en Espagne et dans le Portugal (à Rio-Tinto, à Aguas Tenidas, à Tharsis, à San-Domingo), en France (à Sain-Bel, au Soulier, à Saint-Julien), en Westphalie, en Italie, aux États-Unis. La mine de Rio-Tinto paraît la plus riche et fournit jusqu'à 1 million de tonnes par an; pendant ces dernières années, Sain-Bel donnait plus de 200,000 tonnes.

La première idée de l'application des pyrites à la fabrication de l'acide sulfurique appartient à Clément-Désormes. Mais les tentatives de ce chimiste échouèrent, parce que, dans le but de rendre le minerai plus combustible, il y ajoutait du charbon; le mélange d'acide carbonique et d'oxyde de carbone à l'acide sulfureux entravait la formation de l'acide sulfurique. MM. Perret père et fils de Lyon ont eu le mérite de résoudre pratiquement toutes les difficultés que n'avaient pu vaincre leurs devanciers : les expériences de ces fabricants datent de 1833 et leur brevet de 1835.

Tantôt le minerai est brûlé en morceaux, tantôt il l'est en grenaille ou en poudre fine. Les fours ont des formes et des dimensions propres à chacun de ces deux modes d'opérer; cependant il existe des fours mixtes. Citons, pour le grillage en morceaux, le four à cuve; pour le grillage mixte, le four Perret; pour le grillage en poudre, le four Gerstenhöfer et le four Juhel ou four Maletra.

En général, les gaz provenant de la combustion des pyrites sont plus corrosifs que ceux qui proviennent de la combustion du soufre : ils renferment une quantité notable d'acide sulfurique.

Longtemps inutilisés, les résidus du grillage des pyrites encombraient les abords des usines et leur mise en tas était fort onéreuse : depuis dix ans, on les emploie comme minerais de fer, sauf à débarrasser préalablement du cuivre ceux qui en renfermeraient.

Au lieu de pyrite, quelques usines de Belgique et d'Allemagne grillent la *blende* (sulfure de zinc); dans ce cas, la fabrication de l'acide sulfurique n'a ordinairement qu'un caractère accessoire; l'opé-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ration principale est un traitement métallurgique. Le grillage s'effectue dans des fours spéciaux de divers types, notamment dans les appareils de M. Hasenclever ou de MM. Eichborn et Helbig.

Des progrès successifs, qu'indique le rapport de la classe 45, ont été réalisés dans les fours à *hydrogène sulfuré*.

Que les gaz sulfureux soient produits par la combustion du soufre, de la pyrite ou de l'hydrogène sulfuré, il faut les refroidir avant de les envoyer dans les chambres de plomb. Autrefois ce refroidissement était assuré par des réfrigérants; presque toutes les usines emploient aujourd'hui la *tour de Glower*. Les gaz sont mis, dans cette tour, en contact avec l'acide sulfurique des chambres de plomb, qu'ils concentrent, et avec l'acide sulfurique du condenseur Gay-Lussac, qu'ils dénitrent; il se produit ainsi une certaine quantité de vapeur d'eau, qui réduit d'autant la vapeur à fournir aux chambres par les générateurs.

Les gaz introduits dans la chambre de plomb se composent de l'acide sulfureux, mélangé à l'excès d'air qui a traversé les fours à pyrites, de l'azote dû à l'oxydation de la pyrite par l'air, de vapeur d'eau et de composés azotiques. J'ai déjà rappelé qu'au cas de production de l'acide sulfureux par la combustion du soufre, on produit souvent les composés nitreux dans le four lui-même. Ce mode de procéder est beaucoup plus difficilement applicable avec les fours à pyrites; la plupart des industriels préparent en conséquence l'acide azotique dans des appareils spéciaux et l'envoient soit dans le glower, soit dans les chambres, à l'aide de cascades. Quant à l'admission de la vapeur d'eau, elle doit être réglée avec beaucoup de précision, eu égard à l'influence prépondérante qu'elle exerce sur la marche des chambres, sur le degré de l'acide obtenu et sur la consommation d'acide azotique; des essais entrepris pour le remplacement de la vapeur par de l'eau pulvérisée n'ont pas donné des résultats très satisfaisants.

Après bien des hésitations, on est revenu aux errements anciens pour la forme et les dimensions des chambres de plomb, qui sont ordinairement à section carrée et ont un volume de 4,000 à 6,000 mètres

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cubes. La réaction s'achève dans une petite chambre de queue ou tambour, où l'on n'introduit pas de vapeur. Diverses tentatives peu heureuses ont été faites pour substituer aux chambres de plomb des tours ou colonnes.

Tous les appareils à acide sulfurique sont munis de *tours Gay-Lussac*, placées à la suite de la dernière chambre. Les gaz s'y dépouillent de leurs composés nitreux, qu'absorbe de l'acide sulfurique à 62 degrés Baumé. Cet acide ainsi saturé va ensuite le plus habituellement dans la tour Glower, où il abandonne les composés nitreux qui se mélangent aux gaz sulfureux et rentrent par suite dans les chambres.

La théorie de la transformation de l'acide sulfureux en acide sulfurique dans les chambres de plomb a exercé depuis longtemps la sagacité des chimistes. M. Lequin résume les travaux récents de MM. Lunge, Raschig et Sorel; je ne puis, à cet égard, que renvoyer aux indications de son rapport.

En sortant des chambres de plomb, l'acide sulfurique ne marque que 51 à 52 degrés; en cet état, il ne peut servir qu'à quelques fabrications spéciales. Pour la plupart des applications, on est conduit à le concentrer. Jusqu'à 62 degrés, cette opération est faite soit par les glowers, soit dans des cuvettes en plomb chauffées à la vapeur ou au feu direct; la chaleur provenant de la combustion des pyrites peut être partiellement utilisée à cet effet. De 60 ou 62 à 66 degrés, la concentration s'effectue dans des appareils en platine, ou plus rarement dans des appareils en verre; le platine étant très coûteux, on a cherché à employer la fonte; mais l'expérience n'est pas encore concluante. Le procédé Lunge semble le meilleur pour l'acide monohydraté. Aucune usine française ne produit l'acide anhydre.

b. *Sulfate de soude. Acide chlorhydrique.* — L'un des principaux usages de l'acide sulfurique consiste à transformer le sel marin en *sulfate de soude*. Cependant les progrès de la soude à l'ammoniaque ont sensiblement réduit, durant les dix dernières années, la propor-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tion du sel ainsi transformé au poids total de sel consommé dans les soudières, surtout en France.

Presque tous les pays possèdent des mines de *sel* assez abondantes. L'Angleterre a les gisements du Cheshire, du Worteshire, du Straffordshire et du Durham; l'Allemagne, ceux de la vallée du Rhin, de Stassfurt et du Hanovre; l'Alsace-Lorraine, ceux de la Lorraine; la France, ceux de Meurthe-et-Moselle, du Jura et des Basses-Pyrénées, qui sont exploités les uns à la mine, les autres par dissolution; dans ce dernier cas, l'évaporation a lieu au moyen de poêles auxquels ont été apportés des perfectionnements successifs, en vue de réduire la dépense de combustible. Les marais salants fournissent en outre un contingent assez considérable.

Dans la fabrication du sulfate de soude, il se produit nécessairement de l'*acide chlorhydrique;* cette fabrication a donc pour corollaire celle de l'acide muriatique du commerce.

La transformation du sel marin en sulfate comprend deux phases, dont l'une commence à la température ordinaire, n'exige pour se terminer qu'une chaleur relativement faible et donne naissance à du bisulfate de soude, avec dégagement de la moitié de l'acide chlorhydrique, et dont l'autre s'accomplit à une température voisine du rouge et amène le bisulfate de soude à l'état de sulfate neutre, en le faisant agir sur le sel non encore décomposé et en dégageant la deuxième moitié de l'acide hydrochlorique.

Quant aux appareils, ils se composent du four à sulfate, des tuyaux de conduite pour le gaz hydrochlorique et des appareils pour sa condensation. En général, le four à sulfate présente deux compartiments, le premier à *cuvette* en plomb ou en fonte, destiné à la phase initiale de l'opération, le second dit *calcine,* qui peut être à réverbère ou à moufle : aujourd'hui la plupart des fours sont à moufle, et la tendance est à séparer complètement les gaz de la calcine des gaz de la cuvette. L'acide chlorhydrique, dont l'action serait funeste pour la végétation, doit être soigneusement condensé; du reste l'industrie utilise maintenant, outre l'acide concentré, l'acide en dissolution étendue, par exemple à la régénération du soufre des marcs de soude.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Nos usines effectuent la condensation au moyen d'une petite tour en volvic, où les gaz se refroidissent, puis d'une série de ballons et d'une colonne en poteries avec remplissage en matériaux convenables pour diviser l'eau qu'on introduit à la partie supérieure; les usines anglaises emploient de préférence le système des grandes tours en grès arrosées d'eau et précédées de quelques bachats. Des dispositions ont été prises pour empêcher l'échappement des gaz par les portes de travail.

Les fours ordinaires exigeant une agitation à la main, délicate en même temps que pénible pour les ouvriers, eu égard au dégagement de vapeurs chlorhydriques, MM. Jones et Walsh ont imaginé des fours mécaniques; il existe aujourd'hui d'autres types de fours de cette nature. Leur inconvénient est de mélanger les gaz de la combustion aux vapeurs chlorhydriques et de rendre ainsi la condensation beaucoup plus difficile.

En 1878, M. Troost signalait un mode de transformation directe du sel marin en sulfate de soude, dû à M. Hargreaves; le sulfate de soude résultait de l'action simultanée du gaz acide sulfureux, de l'air et de la vapeur d'eau sur le sel marin chauffé à une température voisine du rouge. Ce procédé, qui supprime la préparation de l'acide sulfurique et par suite les chambres de plomb, présente des difficultés sérieuses; néanmoins, depuis 1878, il a reçu diverses applications en Europe, hors de l'Angleterre.

c. *Chlore.* — Parmi les nombreuses méthodes de fabrication du *chlore,* la plus employée est celle qui repose sur l'action réciproque de l'acide chlorhydrique et du peroxyde de manganèse. Les appareils producteurs consistent soit exceptionnellement en vases de plomb ou de grès, soit généralement en réservoirs établis avec de la pierre siliceuse, non attaquable par l'acide chlorhydrique, avec des laves de Volvic. A la sortie, les gaz passent dans des vases laveurs destinés à les purifier.

L'opération capitale, malgré son caractère en apparence accessoire, est la régénération du peroxyde de manganèse transformé en

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

chlorure. Il faut remonter à 1856 pour rencontrer le premier mode de régénération, celui de Dunlop, qui est resté confiné dans une usine d'Angleterre. Ensuite sont venus les procédés Hoffmann, Kuhlmann, Weldon (1868); M. Weldon débarrassait le chlorure de manganèse de son excès d'acide chlorhydrique au moyen de craie en poudre, clarifiait la dissolution et l'envoyait dans des cylindres oxydeurs où arrivaient un lait de chaux, de la vapeur d'eau et de l'air.

En 1878, M. Weldon prit un brevet pour un nouveau procédé de fabrication du chlore, par l'action de l'acide muriatique sur le bioxyde de manganèse et la magnésie. La dissolution résiduaire, renfermant du chlorure de manganèse et du chlorure de magnésium, était concentrée, puis mélangée avec du bioxyde de manganèse et de la magnésie, desséchée et mise au four en présence d'un courant d'air; cette opération dégageait de l'acide muriatique et du chlore, et laissait des matières régénérées.

Le brevet de 1878 a été suivi de plusieurs autres. En 1884, est apparu le procédé Weldon-Péchiney, qui comprend la dissolution de la magnésie dans l'acide muriatique, la préparation de l'oxychlorure de magnésium, son concassage, sa dessiccation et sa décomposition dans des fours.

Après des débuts pénibles, le procédé Deacon, contemporain du premier procédé Weldon, est aujourd'hui mieux apprécié. Son but est de transformer directement l'acide chlorhydrique en chlore sans produits secondaires : un mélange d'air et d'acide chlorhydrique secs, venant directement du four à sulfate, est chauffé fortement, puis envoyé dans le décomposeur, grand cylindre en tôle à six compartiments (secteurs), contenant des boules d'argile ou mieux de la brique concassée, préalablement imbibées de chlorure de cuivre; il se forme du chlore et de l'eau. L'acide chlorhydrique, qui a échappé à la réaction, et l'eau produite sont condensés; le chlore est desséché et conduit aux chambres à chlorure de chaux. Diverses modifications ou additions ont été successivement réalisées.

Je me borne à signaler encore la production du chlore par le sys-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tème Alsberge[1], ainsi que par le système Hermitte : ce dernier procédé, très original, a pour base la décomposition électrolytique du chlorure de magnésium.

Le chlore est surtout employé comme décolorant et comme désinfectant. Bien qu'on fasse plus généralement usage des chlorures, les fabricants de papier font encore intervenir le chlore gazeux.

De tous les chlorures, le plus important est le *chlorure de chaux*, obtenu par l'action du chlore sur la chaux hydratée et utilisé tant pour blanchir les toiles et la pâte à papier que pour désinfecter.

Les appareils à absorber le chlore sont simples; la plupart des usines ont abandonné les chambres en pierre à étages multiples et adopté les chambres en plomb, qui coûtent moins cher.

Les liquides connus sous le nom de *chlorures de potasse* ou *de soude, d'eau de javelle*, et qui s'obtiennent soit directement par l'action du chlore sur une lessive alcaline, soit indirectement par l'action du carbonate de potasse ou de soude sur le chlorure de chaux, doivent être considérés comme des mélanges de chlorures alcalins et d'hypochlorites.

Jusqu'à une date tout à fait récente, le *chlorate de potasse* se préparait en faisant barboter du chlore dans un lait de chaux, puis en décomposant le chlorate de chaux par le chlorure de potassium. On commence à substituer la magnésie à la chaux et on a pour résidu du chlorure de magnésium utilisable dans les filatures.

Le *chlorate de soude* se fabrique en traitant le chlorate de chaux par le sulfate de soude. Quant au *chlorate de baryte*, il est obtenu par l'action du chlorure de barium sur le chlorate de chaux.

On lira avec intérêt les indications données par M. Lequin, relativement aux applications de l'électro-chimie par certains fabricants de chlorates.

d. *Soude.* — Jusqu'à la fin du siècle dernier, la potasse était presque seule employée partout où l'on avait besoin d'un alcali fixe;

[1] La réaction du procédé Alsberge avait été indiquée par M. Schlœsing, en 1862, dans une communication à l'Académie des sciences.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la *soude* ne servait guère qu'à la fabrication des savons durs ; elle provenait à peu près exclusivement du natron ou de la barille.

A la suite de diverses tentatives ayant leur origine en 1736, pour extraire la soude ou plutôt le carbonate de soude du chlorure de sodium, *Leblanc*, chirurgien du duc d'Orléans, trouva un procédé pratique qui devait immortaliser son nom (1787). Dans ce procédé, les matières premières sont le sulfate de soude anhydre, le carbonate de chaux aussi pur que possible et surtout exempt de magnésie ainsi que de silice, enfin le charbon, matière réductrice. Après avoir été mélangées, ces substances sont soumises à l'action du feu dans un four en briques réfractaires. Le sulfate de soude est d'abord transformé en sulfure de sodium, à une température peu élevée; pendant cette première phase, le carbone se dégage à l'état d'acide carbonique. Puis le sulfure de sodium, réagissant sur le carbonate de chaux, donne du carbonate de soude et du sulfure de calcium insoluble.

Avant l'Exposition de 1867, les fours à soude étaient pour ainsi dire tous des fours à réverbère, où les matières subissaient un brassage à la main, manipulation extrêmement pénible. Depuis, ces fours à réverbère ont cédé la place à des fours tournants, brevetés en 1853 par MM. Elliot et Russel, perfectionnés plus tard par MM. Stevenson et Williamson, et doués d'une capacité de production bien supérieure. Les Anglais ont progressivement augmenté la puissance et les dimensions des fours tournants.

Une fois la cuisson terminée, il faut lessiver la soude; c'est une opération aussi importante que délicate. Pour divers motifs qu'il serait trop long d'expliquer ici, on ne doit se servir que d'eau tiède. Le lessivage a lieu dans des cuves, jadis en gradins, maintenant horizontales; les lessives achèvent de se clarifier dans des bassins de dépôt. On désigne sous le nom de *marcs de soude* ou *charrées de soude* les résidus insolubles qui restent au fond des bassins de lixiviation.

Les lessives renferment du sulfure de sodium, dont il peut être nécessaire de les débarrasser. Cette désulfuration s'opère soit par oxydation, soit par précipitation, à l'aide de sels métalliques. M. Pauli combine l'insufflation de l'air avec l'action de l'oxyde de manganèse.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Dans le commerce, les sels de soude se présentent sous trois formes : *sel de soude carbonaté* (carbonate de soude anhydre, ne renfermant que de 0 à 5 p. 100 de soude caustique); *sel de soude caustique* (carbonate de soude anhydre, pouvant contenir de 6 à 18 p. 100 de soude caustique); *cristaux de soude* (carbonate de soude cristallisé avec 63 p. 100 d'eau de cristallisation et ne renfermant pas de soude caustique).

Le sel de soude carbonaté et le sel de soude caustique s'obtiennent par la concentration des lessives et leur calcination, suivant des méthodes bien connues. Quant aux cristaux de soude, on les prépare en laissant cristalliser directement les lessives, préalablement oxydées, carbonatées et bien clarifiées par le repos, ou en redissolvant dans une faible quantité d'eau des sels de soude calcinés : cette dernière méthode, employée par les fabricants qui ne produisent pas de soude brute, fournit des cristaux transparents, limpides et parfaitement incolores.

Depuis longtemps, la *soude caustique* se fait avec les eaux mères ou lessives rouges provenant du lessivage de la soude brute. Ces lessives sont refroidies très lentement, concentrées et fondues au rouge sombre avec addition de nitrate de soude du Chili, qui oxyde les sulfures, cyanures, etc. Ce traitement est souvent remplacé par une désulfuration au moyen d'un courant d'air insufflé, soit dans la lessive avant concentration, soit au contraire dans la masse visqueuse vers la fin de la concentration. Le rapporteur du jury mentionne encore quelques autres procédés de fabrication. Tandis qu'en France la production de soude caustique est très faible, elle a beaucoup d'importance en Angleterre.

Le résidu laissé par le lessivage de la soude brute se compose essentiellement de sulfure de calcium, de chaux hydratée, de carbonate de chaux et de charbon. Naguère ce résidu encombrait les abords des soudières; l'influence des agents atmosphériques y provoquait d'ailleurs des décompositions fort gênantes pour la région; enfin on y laissait la plus grande partie du soufre mis en œuvre pour fabriquer l'acide sulfurique nécessaire à la décomposition du sel. Dès 1837, Gossage

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

a cherché à récupérer cette matière première. Après lui, un grand nombre de chimistes ont également étudié la régénération du soufre des marcs de soude, et, en 1878, M. Troost pouvait indiquer un premier succès, dans l'application des procédés Mond, Schaffner et Helbig, et Mac-Tear. L'abaissement du prix du soufre dans la pyrite n'a pas permis à ces procédés de vivre; heureusement une nouvelle méthode est née, due à M. Chance, ingénieur-chimiste anglais. Tout en donnant quelques indications sur d'autres méthodes (Schaffner et Helbig, Parnell, Opl, Opl et Miller, Grouven), M. Lequin insiste particulièrement sur celle de M. Chance. Cette méthode a pour base la réaction connue de l'acide carbonique sur le sulfure de calcium, dans une série de vases carbonateurs, puis la décomposition de l'hydrogène sulfuré dans les fours Claus (destinés à l'extraction du soufre des matières d'épuration du gaz d'éclairage). Le gaz sulfhydrique peut être aussi brûlé pour la production de l'acide sulfurique. On retrouve ainsi 90 à 91 p. 100 du soufre contenu dans les marcs.

En résumé, les résultats acquis depuis 1878 pour la fabrication de la soude Leblanc sont : meilleure utilisation des appareils à acide sulfurique, utilisation des résidus de pyrites en métallurgie, emploi de fours mécaniques destinés à la décomposition du sel, améliorations dans les condensations, adoption du procédé Deacon, généralisation des fours tournants pour la soude brute et application d'appareils Thélen, régénération du soufre des marcs de soude.

On sait la grande révolution opérée depuis vingt ans dans l'industrie de la soude par le procédé à l'*ammoniaque*. En 1888, 60 p. 100 du sel consommé par les usines françaises pour la fabrication de la soude allaient au nouveau procédé; l'Allemagne produisait à l'ammoniaque les deux tiers de sa soude; la Belgique n'avait pas d'autre mode de préparation; l'Angleterre a fait preuve de plus de fidélité au procédé Leblanc.

Le principe sur lequel est basée la méthode à l'ammoniaque présente théoriquement une extrême simplicité. A une solution concentrée de sel marin, on ajoute de l'ammoniaque ou du carbonate d'am-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

moniaque; dans ce mélange, on fait arriver de l'acide carbonique qui transforme toute l'ammoniaque en bicarbonate d'ammoniaque. Au contact du sel marin, ce bicarbonate détermine une double décomposition donnant du bicarbonate de soude peu soluble et du chlorhydrate d'ammoniaque très soluble. Le bicarbonate de soude, recueilli, lavé, séché et calciné, fournit du carbonate neutre et de l'acide carbonique qui rentre dans la fabrication; le chlorhydrate d'ammoniaque des eaux mères chauffées avec de la chaux régénère le gaz ammoniac. Il n'y a pas d'autre résidu que du chlorure de calcium, qui peut être écoulé sans grave inconvénient dans les rivières.

Plus d'acide sulfurique; dès lors, plus de fours à pyrites, plus de chambres de plomb; plus de fours à sulfate; plus d'autre résidu que du chlorure de calcium inoffensif. La consommation de combustible est réduite de moitié. Au lieu de sel marin sec ou de sel gemme solide, on emploie l'eau des sources salées ou des sondages.

Divers documents tendent à prouver que Fresnel aurait eu, en 1811, l'idée première du procédé à l'ammoniaque. Pendant la période de 1838 à 1855, plusieurs tentatives d'exploitation en grand furent entreprises par des Anglais, mais aboutirent à un échec financier. En 1855, MM. Schlœsing et Rolland construisirent une usine modèle à Puteaux: les résultats économiques étaient bons; malheureusement des questions de droit fiscal interprétées au désavantage de ces deux hommes éminents et de ceux qui s'étaient groupés autour d'eux empêchèrent leur initiative de porter ses fruits.

Le succès était réservé à M. Ernest Solvay, qui fonda un premier établissement à Couillet (Belgique), en 1865. Plus tard la société Solvay créa à Dombasle (Meurthe-et-Moselle) une soudière immense, produisant aujourd'hui 100,000 tonnes de carbonate par année. D'autres usines ont été élevées depuis, soit par la même société, soit par d'autres compagnies industrielles. On estime que les usines où sont exploités les brevets Solvay livrent à elles seules la moitié de la soude consommée dans le monde entier.

Comment l'essor du procédé à l'ammoniaque ne s'est-il pas manifesté plus tôt? Cela tient à diverses causes que M. Troost énumère avec

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

infiniment de sagacité dans son rapport de 1878, notamment à l'étendue et au prix de revient des installations, ainsi qu'au caractère fort délicat des opérations.

Les réactions donnent un carbonate de soude en poudre très légère, contenant jusqu'à 98.5 p. 100 de carbonate pur; elles ne fournissent pas la soude caustique. Quant aux cristaux, ils s'obtiennent en redissolvant le carbonate pulvérulent, avec une petite addition de sulfate de soude.

Bien que fondées sur le même principe et aboutissant aux mêmes produits finaux, les diverses méthodes en usage ne sont cependant point identiques, au point de vue des cycles de réactions. M. Lequin définit les deux types principaux, dont le premier comprend les méthodes Kemming et Dyar, Schlœsing et Rolland, Solvay, Daguin, et le deuxième une nouvelle méthode Schlœsing, appliquée en Angleterre, après étude en France à Saint-Denis.

L'un des avantages qui restent au procédé Leblanc tient à ce qu'il donne l'acide chlorhydrique nécessaire pour la préparation des chlorures décolorants. Aussi les industriels qui appliquent le procédé à l'ammoniaque devaient-ils chercher à extraire le chlore des eaux résiduaires où il existe à l'état de chlorure de calcium. Leurs efforts très louables se poursuivent, sans qu'il s'en dégage jusqu'ici un succès indiscutable.

Presque toute la soude est fabriquée, soit par le procédé Leblanc, soit par le procédé à l'ammoniaque. Toutefois quelques autres procédés ont fait l'objet, les uns d'applications d'une certaine importance, les autres d'expériences intéressantes.

Parmi les tentatives récentes, il y a lieu de citer celles de MM. Kayser Williams et Yung (traitement du sulfate de soude par l'acide carbonique et l'oxyde de carbone); de MM. Carey, Gaskel et Hurter (action de la vapeur d'eau sur un mélange de sulfate de soude et de sulfate d'ammoniaque; calcination du bisulfate de soude ainsi formé avec addition de sel; traitement du sulfate neutre par l'ammoniaque et l'acide carbonique; calcination du bicarbonate de soude); de M. Sta-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

veley (traitement du sulfate de soude par la chaux et le crésol ou le phénol; décomposition du crésylate ou du phénate de soude par l'acide carbonique). Les procédés de décomposition directe du chlorure de sodium en soude caustique et chlore par l'électrolyse doivent être également mentionnés pour mémoire.

e. *Potasse.* — Les sels de *potasse* utilisés surtout en raison des propriétés de leur base sont le carbonate, le chlorure et le sulfate. Ils trouvent un emploi chaque jour plus considérable dans l'agriculture, soit directement, soit pour la préparation des engrais composés.

Stassfurt (Allemagne) a des gisements qui alimentent tous les marchés de l'Europe. Les principaux minerais fournis par ces gisements sont la carnallite et la kaïnite; le premier contient du chlorure de potassium associé au chlorure de magnésium; le second, du sulfate de potasse. Pour extraire le chlorure de potassium de la carnallite, on soumet ce minerai à l'action de l'eau et à des opérations successives ayant pour but de concentrer la liqueur et de cristalliser le chlorure. Cette dernière substance, outre son utilisation comme engrais, constitue aussi la matière première du sulfate et du carbonate, qui se préparent par les procédés en usage dans la fabrication de la soude Leblanc; MM. Ortlieb et Miller ont imaginé la transformation du chlorure en carbonate par une réaction semblable à celle qui donne la soude à l'ammoniaque, mais en substituant la triméthylamine à l'ammoniaque.

Jadis on extrayait le carbonate, le sulfate et le chlorure des cendres de bois : ce traitement est abandonné. L'extraction de ces sels des varechs n'a plus son ancienne importance. Les eaux mères des marais salants continuent à être traitées par le procédé Balard, qui donne successivement du sulfate de magnésie, du chlorure de magnésium et du chlorure de potassium.

On sait que la distillation des mélasses du sucre de betterave fournit un résidu comprenant tous les sels minéraux cédés par le sol à cette plante. Évaporé et brûlé au four, ce résidu laisse un salin composé en grande partie de carbonate de potasse, mélangé à du carbonate de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

soude, à du chlorure de potassium et à du sulfate de potasse. Le salin est lessivé et soumis au raffinage : une séparation s'opère entre les divers sels, grâce à leur différence de solubilité.

Jusqu'à ces dernières années, l'industrie séparait le sucre des mélasses par exosmose; les eaux ainsi obtenues laissaient par la cristallisation du nitrate de potasse et du chlorure de potassium.

Les eaux de lavage des laines évaporées et brûlées comme les vinasses donnent du carbonate, avec une petite proportion de chlorure et de sulfate.

f. *Industries diverses.* — J'ai déjà dit quelques mots du *soufre*, en tant que matière première de l'acide sulfurique. Il me reste à en parler au point de vue de certains autres usages.

Le soufre sert au traitement des maladies de la vigne et en particulier de l'oïdium, à la vulcanisation du caoutchouc, à la fabrication du sulfure de carbone, de la poudre, des allumettes. Malgré l'emploi croissant de la pyrite pour la préparation de l'acide sulfurique, malgré la substitution de diverses autres matières pour la poudre et pour les allumettes, la production du soufre ne cesse d'augmenter. En France, l'opération du raffinage est concentrée à Marseille; les usines de cette ville livrent de la fleur de soufre, du soufre trituré obtenu par le broyage et le tamisage du n° 2 de Sicile, du soufre trituré obtenu par le broyage du candi, du soufre en canon, du soufre en pain et des mèches soufrées; différentes améliorations ont été réalisées, en vue de réduire la consommation de combustible et la formation du candi.

L'*acide sulfureux* est utilisé notamment dans les fabriques de papier et de cellulose; une application intéressante de l'anhydride sulfureux est celle que l'on en fait pour la fabrication de la glace dans les machines Pictet. Nous n'avons point en France d'usines produisant en grand l'acide sulfureux, soit à l'état d'anhydride, soit à l'état de dissolution. Les industriels qui ont à s'en servir le préparent généralement eux-mêmes pour leurs propres besoins.

Parmi les *sulfites* exposés en 1889, on peut citer le bisulfite de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

soude, le bisulfite d'ammoniaque, le bisulfite d'alumine, le bisulfite de chaux. Cette dernière substance est utilisée dans la décoloration des jus sucrés, dans la préparation de la cellulose et des pâtes à papier, dans la draperie; elle sert aussi pour la conservation des viandes.

Depuis 1878, la fabrication du *sulfure de carbone* s'est considérablement développée : on l'emploie à l'extraction des corps gras, à la vulcanisation du caoutchouc, à la défense des vignes contre le phylloxera, à la préparation des sulfocarbonates alcalins pour le même objet. Le sulfure de carbone se fabrique en faisant passer des vapeurs de soufre sur du charbon incandescent; pendant la réaction, il se dégage de l'hydrogène sulfuré qui est, soit brûlé et transformé en acide sulfureux, soit envoyé dans une solution de potasse (quand le gaz contient encore un peu de sulfure de carbone), pour former du sulfocarbonate.

C'est vers 1870 qu'ont commencé en Angleterre les essais relatifs à l'emploi de l'*eau oxygénée* comme décolorant. Aujourd'hui on l'utilise avec succès pour le blanchiment de l'ivoire, des os, des soies, du lin, de la paille, du rotin, des éponges, de la laine, des feutres, du bois, etc.; elle convient aussi à des usages médicaux.

On prépare l'eau oxygénée en traitant le bioxyde de barium broyé et délayé dans l'eau par un acide, et spécialement par l'acide phosphorique ou par l'acide fluorhydrique; les résidus sont soumis à un traitement qui régénère les acides. Le bioxyde de barium s'obtient en calcinant le nitrate de baryte, qui lui-même résulte de l'action de l'acide nitrique sur le carbonate de baryte naturel.

Le *phosphore*, découvert en 1669 par Brandt de Hambourg, s'extrait actuellement des os que l'on traite par l'acide chlorhydrique, de manière à obtenir une liqueur muriatique diluée renfermant le phosphate de chaux dissous. Ce phosphate simple, transformé en phosphate bicalcique, est soumis à l'action de l'acide sulfurique; une fois mis en liberté, l'acide phosphorique doit être concentré et réduit par le charbon. Outre le phosphore, les os donnent de la gélatine.

Jusqu'au xv^{e} siècle, l'*alun* employé en Europe venait du Levant. Un

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Génois découvrit vers cette époque les gisements d'alunite de la Tolfa, près de Rome, et la fabrication de l'alun prit dès lors une grande extension en Italie. Au xvi^e^ siècle, on parvint, en Allemagne, à produire l'alun au moyen des schistes alumineux; ce procédé, utilisé peu de temps après en France et en Angleterre, ne donnait qu'un alun ferrugineux et toujours inférieur à celui de Rome, quand, au commencement de ce siècle, Leblanc parvint à donner aux aluns ordinaires l'aspect et les qualités de leur rival italien; presque à la même date, Chaptal créait en France la fabrication du *sulfate d'alumine* par les argiles et l'acide sulfurique. Susceptible d'être obtenu à un prix beaucoup moins élevé que l'alun, plus riche que lui en alumine, le sulfate le remplace avantageusement dans l'encollage des papiers et même dans la teinture, lorsqu'il ne contient ni fer, ni excès d'acide.

Le sulfate d'alumine peut être préparé par la réaction de l'acide sulfurique sur l'alumine, produit accessoire de la fabrication de la soude à l'aide de la cryolithe du Groënland. On le tire aussi de la bauxite, dont il existe des gisements aux Baux et à Villeveyrac : la bauxite contient de l'alumine, de la silice, du peroxyde de fer, avec une très faible quantité de chaux et de magnésie; traitée simplement par l'acide sulfurique, elle donne du sulfate d'alumine ferrugineux; on peut éliminer le fer par le cyanoferrure de potassium, bien que ce soit peu pratique.

Quant à l'alun (sulfate double d'alumine et de potasse), il se fabrique, soit en ajoutant du sulfate de potasse au sulfate d'alumine de la bauxite, soit en soumettant à un traitement convenable l'alunite ou les schistes alumineux. L'alunite, formée d'acide sulfurique, de potasse et d'alumine, se rencontre surtout à la Tolfa; nous en avons une mine au Mont-Dore. Les schistes alumineux se trouvent dans les gîtes carbonifères; ils renferment du sulfure de fer, de l'alumine, de l'acide sulfurique, du protoxyde de fer, des matières charbonneuses et des matières organiques.

Préparé par la calcination de la bauxite avec du carbonate de soude, l'aluminate de soude, soumis à l'action de l'acide carbonique, donne de l'*alumine* hydratée, qui fournit elle-même un grand nombre

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de sels d'alumine et que l'Allemagne emploie en quantité importante pour produire le sulfate d'alumine non ferrugineux.

C'est l'Angleterre qui monopolise l'industrie des produits *chromés*, si utiles pour la fabrication des couleurs et le tannage des peaux. On produit le bichromate de potasse en calcinant le fer chromé avec du carbonate de chaux et en reprenant le chromate de chaux par l'acide sulfurique. A côté du sel de potasse se place maintenant le chromate de soude. Un produit nouveau est le chromium, alliage de fer et de chrome, qui paraît devoir rendre d'utiles services à la métallurgie.

On extrait aujourd'hui beaucoup d'*iode* du salpêtre du Chili. Cependant la Bretagne continue à le tirer des cendres de varechs. Les eaux de lessivage sont évaporées, débarrassées par cristallisation d'une partie des sels qu'elles contiennent, traitées par l'acide sulfurique, puis soumises à un courant de chlore qui décompose l'iodure de potassium; l'iode est recueilli et sublimé. Après séparation de l'iode, les eaux mères donnent du *brome*, sous l'action du bioxyde de manganèse et de l'acide sulfurique. L'iode ou le brome, mis en présence de la potasse, fournissent l'iodure ou le bromure de potassium.

Je me borne à renvoyer au rapport de M. Lequin pour la métallurgie de l'*antimoine* et la fabrication des sels de *cobalt*.

Le *borax* ou biborate de soude a la propriété de dissoudre les oxydes métalliques; cette propriété conduit à l'employer pour les soudures de métaux. Il entre dans la composition des strass, des émaux, des glaçures de faïence ou de grès, des couleurs sur verre et sur porcelaine, etc. On le tire surtout du borate de chaux de l'Asie Mineure, découvert par M. Desmazure pendant la guerre de Crimée. Quand le borate est impur, on en extrait d'abord l'acide borique au moyen de l'acide chlorhydrique, puis on substitue l'acide borique à l'acide carbonique du carbonate de soude; quand le borate est pur, on se borne à le traiter par le carbonate de soude.

Plusieurs usines françaises produisent le *prussiate jaune de potasse* ou cyanoferrure de potassium. Les deux procédés en usage sont : 1° la calcination de matières organiques azotées avec du carbonate de potasse et du fer; 2° l'extraction des résidus d'épuration du gaz d'éclai-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rage. Du prussiate jaune on tire le *prussiate rouge* ou ferricyanure de potassium par l'action du chlore : cette substance est actuellement utilisée en teinture. Le bleu de Prusse, découvert à Berlin en 1704, consiste en un ferrocyanure ferrique; il se prépare en oxydant à l'air du cyanoferrure ferroso-potassique, qui est lui-même obtenu par la précipitation du sulfate de fer au moyen du cyanoferrure de potassium. Enfin le prussiate jaune se transforme aussi sans difficulté en cyanure blanc.

La distillation du bois en vase clos donne de l'*alcool méthylique* et de l'*acide pyroligneux*. Celui-ci, saturé par de la chaux, puis traité par l'acide chlorhydrique, fournit de l'*acide acétique* brut, qui exige une ou deux rectifications.

Deux procédés sont en usage pour la fabrication de l'*acide tartrique*. Le premier consiste à traiter les lies de vin riches par l'acide chlorhydrique et le carbonate de chaux, puis à décomposer le tartrate de chaux par l'acide sulfurique. Le second, de date plus récente, substitue l'acide sulfureux à l'acide chlorhydrique.

On prépare l'*acide citrique* au moyen du jus de citron concentré, en faisant du citrate de chaux et en décomposant ce sel par l'acide sulfurique.

Sous la rubrique *Utilisation des résidus*, M. Lequin a groupé des indications fort intéressantes sur les procédés ayant pour objet l'utilisation économique des résidus jusqu'alors sans emploi. Dans cette partie de son rapport, il passe en revue les moyens de séparer l'étain du vieux fer-blanc; la méthode imaginée par M. Fremy pour tirer parti des phosphates pauvres en vue de la fabrication des superphosphates de chaux; la préparation du sulfate de fer destiné à l'agriculture, par l'action de l'acide sulfurique sur la ferraille; celle du sulfate de cuivre, pour la galvanoplastie et surtout pour le traitement des maladies de la vigne.

3. Savons. — Il est impossible de préciser l'époque à laquelle fut inventé le savon. Les anciens en firent usage et Pline en attribue l'invention aux Gaulois, qui l'utilisaient comme cosmétique. Des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fouilles exécutées à Pompéi prouvent que la fabrication en était connue des Romains.

Au VIII^e^ siècle, l'Italie et l'Espagne avaient des savonneries; la France suivit leur exemple vers la fin du XII^e^ siècle. D'après certains auteurs, les premières manufactures de savon de soude auraient été établies à Savone; quoi qu'il en soit, cette ville avait au XV^e^ siècle une réputation, qu'elle partagea ensuite avec Gênes et Marseille. Plus tard, des savonneries se sont élevées dans tous les grands centres de population.

Si l'on a su de temps immémorial fabriquer du savon en traitant ensemble des matières grasses et des alcalis, la théorie chimique de la saponification n'est connue que depuis les travaux mémorables de Chevreul. Cet illustre savant a démontré que, sous l'influence des alcalis, les corps gras se décomposent en acides gras, qui, se combinant avec l'alcali, donnent le savon, et en principe doux des huiles ou glycérine, corps neutre qui joue dans les corps gras un rôle comparable à celui d'un alcool dans les éthers composés. Les savons sont des sels, et les matières grasses neutres des éthers de la glycérine.

Parmi les différents corps gras employés à la fabrication du savon, il y a lieu de citer notamment l'huile d'olive, seule admise à Marseille jusqu'au commencement du siècle, l'huile d'arachide, l'huile de sésame, l'huile de coton, l'huile de coco, l'huile de palme, l'huile palmiste, le suif végétal, l'huile de tournesol; les graisses de bœuf, de mouton, de porc; enfin l'acide oléique. Quant aux alcalis, ce sont la soude rendue caustique et la potasse : cette dernière base donne des savons mous.

Les matières grasses peuvent être traitées, soit par le procédé dit *à la grande chaudière*, soit par le procédé dit *à la petite chaudière*, à froid ou par empâtage. Dans le premier, on obtient des savons dits *lavés* sur lessives ou sur gras, produit aussi pur que le serait un sel qui aurait cristallisé, en abandonnant aux eaux mères toutes les matières étrangères. Dans le second, le produit obtenu, sans séparation de la glycérine et des impuretés, est immédiatement livré à la consommation.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pour les savons à la grande chaudière, les opérations successives sont la préparation des lessives, l'empâtage des matières grasses, la séparation de la pâte saponifiée des lessives faibles ou relargage, la cuite ou coction, le coulage dans les mises. A ces opérations s'ajoutent le madrage, quand il s'agit de savons marbrés, le découpage et la dessiccation, quand il s'agit de savons durs.

La préparation des lessives caustiques s'effectue en traitant les soudes brutes ou le carbonate de soude par la chaux. Indépendamment des soudes douces employées à l'empâtage, on fait des soudes salées pour la coction. La soude est remplacée par la potasse dans la fabrication des savons mous, qui exige d'ailleurs des lessives imparfaitement caustiques.

Après la préparation des lessives vient l'empâtage, premier degré d'union des matières grasses avec l'alcali. Les huiles ou les graisses sont introduites dans la lessive caustique à 10 degrés en ébullition; on fait bouillir pendant plusieurs heures, puis on ajoute de la lessive à 15 ou 20 degrés.

Le relargage s'opère en projetant sur la pâte savonneuse des lessives de recuit marquant de 25 à 30 degrés et contenant une forte proportion de sel; la pâte prend la forme de grumeaux et la lessive vient occuper la base de la chaudière, d'où elle sort par l'*épine*.

Quand le relargage est terminé, on procède à la cuite avec des lessives alcalino-salées marquant de 20 à 25 degrés, que l'on remplace à plusieurs reprises après les avoir maintenues en ébullition pendant quelques heures.

Le savon blanc de Marseille exige une dernière main-d'œuvre, la liquidation, qui se fait avec des lessives douces et qui a pour objet de dépouiller la pâte de toute matière colorante.

Lorsque le savon doit être marbré, on ajoute à la pâte, pendant l'opération d'empâtage, une dissolution de sulfate de fer. Après la coction, le savon présente une coloration uniforme gris-bleu, que l'on transforme en veines colorées au moyen de la madrure, c'est-à-dire d'un brassage combiné avec l'action de lessives usées de faibles degrés.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Une catégorie intéressante de savons est celle des savons de toilette, aux formes élégantes et variées, aux couleurs délicates et vives, aux parfums divers. Ce sont des composés salins analogues aux savons ordinaires, mais se distinguant par le choix des matières, par les parfums et les baumes qu'on y introduit, par les soins apportés à leur épuration.

Sans pousser plus loin ces indications élémentaires sur la fabrication, je passe immédiatement aux faits consignés dans le rapport du jury de 1889.

D'après les dernières statistiques, la France produit 250 millions de kilogrammes de savon, représentant une valeur de 120 millions de francs. A elle seule, l'industrie marseillaise fournit 100 millions de kilogrammes, valant 46 millions de francs.

Loin de se complaire dans la routine, nos fabricants ont poursuivi les seules améliorations réalisables : simplification de la main-d'œuvre, diminution du prix de revient, utilisation des sous-produits. Un progrès fort intéressant est l'extraction de la glycérine des lessives, jusqu'alors inutilisées ou vendues à vil prix : M. Charles Roux décrit en détail le procédé qui a été mis en œuvre avec succès. Depuis 1882, l'usine de MM. Michaud, à Aubervilliers, recourt à une autre méthode permettant d'extraire la glycérine des corps gras neutres avant leur transformation en savon.

Des débats passionnés se sont engagés au sujet des savons unicolores à base d'huile concrète que l'industrie marseillaise fabrique depuis 1851. Ces savons ne s'hydrataient pas au delà de 28 p. 100 par le procédé normal et ne pouvaient dès lors lutter avec le savon marbré ; les Marseillais ont eu alors l'idée d'amener le nouveau produit au degré maximum d'hydratation du savon type (35 p. 100), par une opération supplémentaire dite *augmentation :* il y a là un danger, car la tentation d'exagérer le poids de l'eau peut entraîner les fabricants peu scrupuleux.

4. Industrie stéarique. — L'industrie stéarique, aujourd'hui si puissante, ne remonte pas à plus de soixante ans. En 1815, Bra-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

connot de Nancy démontrait que les corps gras se séparent par simple pression en éléments de même nature, associés dans une proportion variable, et dont les principaux sont la stéarine, la margarine et l'oléine. De ces trois substances, il isolait la première, en éliminant les deux autres par l'essence de térébenthine.

Mais il était réservé à Chevreul de poser, avec la collaboration de Gay-Lussac, les bases scientifiques de l'industrie stéarique, par les travaux mémorables sur la saponification que j'ai déjà eu l'occasion de citer. Ces deux savants prirent, le 25 janvier 1825, un brevet d'invention par lequel ils entendaient « se réserver le droit exclusif de « préparer pour l'éclairage les acides gras, solides et liquides, obtenus « en saponifiant par la potasse, la soude et les autres bases, par les « acides ou par tout autre moyen, les graisses, les suifs, les beurres « et les huiles ». Leur procédé comprenait les opérations suivantes : 1° saponification du corps gras, soit à la température ordinaire de l'ébullition et sous la seule pression de l'atmosphère, soit à une température peu élevée et sous une pression de plusieurs atmosphères; 2° séparation entre l'oléate alcalin, d'une part, le stéarate et le margarate, d'autre part, au moyen de l'eau, et décomposition de ces sels par un acide; ou bien décomposition de la masse savonneuse par un acide et séparation entre l'acide oléique, d'une part, l'acide stéarique et l'acide margarique, d'autre part, soit par la pression à froid ou à chaud, soit par l'alcool; ou bien encore traitement du savon, d'abord par l'alcool froid pour dissoudre l'oléate, puis par l'alcool bouillant pour dissoudre le surplus des sels gras, et décomposition par un acide. Chevreul et Gay-Lussac n'arrivèrent point à des résultats industriels.

Vers la même époque, Cambacérès, ancien élève de l'École polytechnique, imaginait les mèches tressées ou nattées « ayant la pro- « priété de s'incliner toujours du même côté et à une hauteur toujours « égale, au fur et à mesure de la combustion de la bougie ». Il ne se formait jamais de résidu de charbon à la partie supérieure de ces mèches. L'inventeur obtenait ce résultat par un trempage dans l'acide sulfurique étendu. Malgré leurs mérites incontestables, les nouvelles

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mèches avaient le défaut de se détruire au contact de l'air. Cambacérès échoua dans les tentatives qu'il entreprit pour appliquer industriellement les travaux de Chevreul et de Gay-Lussac, ainsi que les résultats de ses propres recherches.

Entre temps, Chevreul et Gay-Lussac avaient fait enregistrer en Angleterre, sous le nom de Mosès-Poole, un brevet relatif à l'extraction de l'acide stéarique, soit par la saponification, soit par la distillation Pour la saponification, ils indiquaient l'emploi de la chaux. Ce brevet ne fut jamais exploité.

L'utilisation des acides gras solides pour l'éclairage semblait abandonnée, quand en 1829 deux jeunes médecins, MM. de Milly et Motard, reprirent la question. Après deux années de recherches, ils découvrirent un moyen économique de saponification par la chaux. Dès lors, l'industrie stéarique était créée. MM. de Milly et Motard érigèrent immédiatement, près de la barrière de l'Étoile, une usine dont les produits allaient acquérir un renom universel.

Tout d'abord les inventeurs opéraient la saponification dans une chaudière à feu nu, munie d'un agitateur et chauffée de telle sorte que le mélange fût porté à la température de 136 degrés centigrades. On vidait ensuite la chaudière par le trou d'homme. La conduite de l'opération était très difficile : on ne pouvait maintenir le mélange à une température régulière; le savon emprisonnait souvent de la matière grasse neutre, qui donnait aux bougies un toucher gras.

MM. de Milly et Motard changèrent de méthode et opérèrent la saponification dans une cuve chauffée à 100 degrés par un tuyau à dégagement de vapeur. Le savon calcaire, séparé de la solution de glycérine, était concassé et soumis à l'action de l'acide sulfurique dans une cuve chauffée à la vapeur. Sous l'influence de l'acide sulfurique, les acides gras se réunissaient à la surface du bain; on les recueillait et on les laissait refroidir dans des caisses de fer-blanc. Une fois le refroidissement terminé, MM. de Milly et Motard plaçaient les pains entre les plateaux de la presse hydraulique, pour éliminer l'acide oléique; cette manipulation se divisait en deux phases, pression à froid dans une presse verticale, pression à chaud dans une presse

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

horizontale. Il fallait soumettre la stéarine à une dernière purification. Des précautions devaient aussi être prises pour empêcher la cristallisation de l'acide stéarique dans les moules à bougies : à la suite de plusieurs essais plus ou moins heureux, MM. de Milly et Motard trouvèrent un moyen aussi simple qu'ingénieux, consistant à laisser refroidir l'acide jusqu'à une température voisine de son point de solidification, puis à le verser dans les moules préalablement chauffés à la même température. C'est après l'accomplissement de tous ces progrès que la bougie de l'Étoile parut à l'Exposition française de 1834.

Il restait un dernier perfectionnement à réaliser au point de vue des mèches. Tout en conservant le système des mèches tressées dû à Cambacérès, M. de Milly substitua à l'acide sulfurique, dont s'était servi cet inventeur, l'acide borique dissous dans l'eau additionnée en très minime proportion du premier de ces deux acides.

Depuis, des procédés un peu différents ont été successivement mis en œuvre. Je me bornerai pour ainsi dire à une simple énumération. Ce sont la saponification sulfurique suivie ou non suivie de distillation, la saponification aqueuse combinée avec la distillation de la glycérine et des acides gras, la saponification aqueuse à haute pression, la saponification alcaline dans un autoclave.

Chevreul et Gay-Lussac avaient déjà indiqué dans leur brevet de 1825 la saponification par l'acide sulfurique. En 1836, M. Fremy prouva que la réaction déterminée par cet acide produisait des acides sulfo-gras et de l'acide sulfo-glycérique, et qu'un traitement par l'eau bouillante décomposait facilement les acides sulfo-gras, en retenant dans la dissolution l'acide sulfo-glycérique. Toutefois on n'arriva à obtenir de la stéarine suffisamment incolore et réellement utilisable qu'en distillant les acides gras. Du reste, Chevreul avait proposé, dès 1825, de procéder à cette distillation dans le vide et à haute température. Il y avait là un problème difficile, et M. Dubrunfaut partage avec MM. Georges Wilson, William Colley, Georges Gwinne et Jones, le mérite de l'avoir résolu.

La saponification aqueuse combinée avec la distillation a été

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

inventée par M. Wilson, qui parvint à exécuter simultanément les deux opérations en chauffant la matière grasse dans un vase distillatoire et en y faisant passer par barbotage de la vapeur d'eau à 315 degrés.

Quant à la saponification aqueuse sous pression, elle fut indiquée par MM. Berthelot, Tilghmann, Melsens et Renner. La réalisation pratique en est due à M. Hugues; dans la méthode de cet ingénieur, les corps gras et l'eau sont mis en présence à la température de 200 degrés centigrades et sous une pression de 15 kilogrammes.

Enfin M. de Milly a repris sa tentative de 1836, consistant à traiter le suif par la chaux et l'eau, à la température de 136 degrés centigrades, dans un autoclave où le mélange était soumis à une pression de 5 atmosphères au moyen d'une adduction de vapeur d'eau. Les quantités de chaux et d'acide sulfurique ont pu être progressivement réduites.

Aujourd'hui l'industrie stéarique emploie soit le procédé de saponification calcaire en vase clos sous pression, soit le procédé de saponification sulfurique et de distillation : de ces deux procédés, c'est le premier qui a le plus d'adeptes.

En dehors de la fabrication des bougies, l'*acide stéarique*, notamment celui qui provient de la saponification, a divers emplois industriels, par exemple pour certains apprêts.

L'*acide oléique* sert à la fabrication des savons et au travail des laines.

Naguère l'industrie stéarique livrait seule la *glycérine* brute. Actuellement cette substance est puisée aussi à d'autres sources.

Les eaux glycériques provenant de la saponification calcaire des corps gras et des procédés de saponification sous pression par l'eau seule ou par les réactifs autres que la chaux, subissent une série de manipulations ayant pour objet de les débarrasser des acides gras fixes, des acides volatils, des sels calcaires, etc., et fournissent la glycérine brute de saponification. On purifie de même les eaux glycériques de distillation.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ainsi que je l'ai précédemment rappelé, les fabricants de savon sont parvenus à extraire la glycérine brute des sous-lessives et même à la retirer des corps gras avant leur transformation en savons.

On raffine la glycérine brute en la faisant passer dans des filtres contenant du noir animal.

La glycérine chimiquement pure s'obtient par la distillation, au moyen de la vapeur surchauffée, de la glycérine brute de saponification.

Dans le rapport qu'il a rédigé au nom du jury de la classe 45, M. Michaud attire l'attention sur la situation difficile faite à l'industrie stéarique par la loi du 30 décembre 1873 : cette loi frappe en effet la bougie d'un droit de consommation de 30 francs par 100 kilogrammes, ce qui correspond à 30 p. 100 de la valeur actuelle du produit.

Les observations du rapporteur méritent d'autant plus d'éveiller la sollicitude des pouvoirs publics, que l'industrie stéarique subit aujourd'hui la concurrence redoutable de l'huile de pétrole et de ses dérivés.

5. Pétroles. — Comme le dit M. Riche au début de son rapport, le pétrole est un agent d'éclairage remarquable par l'éclat de sa flamme et la simplicité des appareils, le plus économique de tous dans les pays où les droits de douane et d'octroi ne sont pas trop élevés. Il a un pouvoir calorifique considérable. Souvent il donne des huiles lubrifiantes d'excellente qualité. On en tire des produits légers servant à carburer l'air, à détacher les tissus, à développer de la force motrice; on en extrait la paraffine et la vaseline; on arrivera sans doute à l'utiliser pour la préparation des hydrocarbures aromatiques.

Dès la plus haute antiquité, les huiles minérales étaient connues et employées pour l'éclairage dans les pays d'Orient, en Chine, au Japon, en Perse, en Birmanie, ainsi qu'en Italie. Ces huiles sont citées par Hérodote, Plutarque et Pline.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Avant la conquête du nouveau monde, les Indiens de l'Amérique du Nord recueillaient le pétrole et s'en servaient soit dans la teinture des peaux, soit dans la thérapeutique. Comme en Europe et en Asie, il est le compagnon du sel et du soufre. Au siècle dernier, les Américains du Nord brûlaient les gaz sortant de certains puits de salines; mais ils n'employaient guère le pétrole liquide, à cause des difficultés de son épuration. Ils ne consommaient que les huiles minérales extraites des schistes bitumineux.

Vers 1833, la France a songé à tirer parti dans le même but de ses gisements de schistes d'Autun et du bassin de l'Allier. En 1847, Young créa la même industrie sur le sol de l'Écosse, avec des boghead, et la transplanta sur le territoire des États-Unis, où furent exploités les cannel-coal de la Virginie et du Kentucky.

L'essor pris par la distillation des schistes, des boghead et des cannel-coal devait ramener l'attention sur les huiles toutes formées dans le sol, c'est-à-dire sur les pétroles. Avec leur initiative habituelle, les Anglais entreprirent une exploitation en Birmanie; en 1857, l'Autriche commençait à consommer des pétroles de Galicie; des essais d'extraction avaient lieu sur divers points de l'Alsace et de l'Allemagne.

Telle était la situation quand, en 1858, un Américain fit jaillir une source abondante de pétrole en forant un puits d'eau salée. La découverte du Pactole n'aurait pas produit plus d'effet. Une fièvre violente, la « fièvre du pétrole », poussa tous les chercheurs vers la vallée de l'Allegheny; bientôt la Pennsylvanie et les districts voisins furent criblés de trous de sonde. Dès 1860, l'extraction annuelle était de 500,000 barils ou 63 millions et demi de kilogrammes; elle dépassait 500,000 tonnes en 1865, 1 million de tonnes en 1873, 2 millions en 1879, 3 millions en 1880, et arrivait à 3,854,000 tonnes en 1882; depuis, elle a un peu diminué : les statistiques de 1888 n'accusent que le chiffre, d'ailleurs très respectable, de 3,196,000 tonnes. En 1887, on comptait plus de 20,000 puits exploités. Parmi ces puits, il en est de jaillissants : ce ne sont pas les plus recherchés, car leur débit offre des irrégularités et présente parfois une telle abondance

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

que l'huile est difficile à recueillir. Dans les autres puits, l'extraction se fait à la pompe [1].

L'épuisement progressif de certains forages a poussé les exploitants à étendre le champ de leurs travaux et à envahir un grand nombre d'États. Le champ le plus fertile a été au début celui de Bradford, qui, en 1880, fournissait près des neuf dixièmes de la quantité totale extraite aux États-Unis; il est aujourd'hui supplanté par ceux de Washington et de Mac-Donald.

Des conduites forcées amènent le pétrole des puits d'extraction, soit jusqu'aux wagons ou aux bateaux-citernes qui doivent le transporter dans les centres de consommation ou les ports d'embarquement, soit jusqu'aux usines de distillation.

Certaines huiles naturellement lourdes sont utilisées directement pour le graissage, tantôt à l'état brut, tantôt après filtration au charbon, ou raffinage à l'acide sulfurique et à la soude.

Les huiles contenant des produits d'éclairage doivent subir le raffinage, c'est-à-dire la distillation suivie d'un traitement par l'acide sulfurique, puis par la soude caustique. Au cours de la distillation, il se forme des produits divers que l'on sépare : gazoline (produit très léger); benzine, naphte, essences (produits intermédiaires); huiles lampantes, kérozènes; huiles solaires, kérozènes lourds, matières de

[1] Les statistiques officielles donnent les chiffres suivants pour la production du pétrole aux États-Unis depuis 1859, en *barrels* dont le poids peut être évalué à 127 kilogrammes :

ANNÉES.	BARRELS.	ANNÉES.	BARRELS.	ANNÉES.	BARRELS.
1859.....	2,000	1870.....	5,260,745	1880.....	26,286,123
1860.....	500,000	1871.....	5,205,234	1881.....	27,661,238
1861.....	2,113,609	1872.....	6,293,194	1882.....	30,349,897
1862.....	3,056,696	1873.....	9,893,786	1883.....	23,444,878
1863.....	2,611,309	1874.....	10,926,945	1884.....	24,214,290
1864.....	2,116,169	1875.....	12,162,514	1885.....	21,842,041
1865.....	2,497,700	1876.....	9,132,669	1886.....	28,285,115
1866.....	3,597,700	1877.....	13,350,363	1887.....	28,249,597
1867.....	3,347,300	1878.....	15,396,868	1888.....	27,346,018
1868.....	3,646,117	1879.....	19,914,146	1889.....	35,163,513
1869.....	4,215,000				

Le chiffre indiqué pour 1875 comprend plus de 3 millions de barils extraits pendant les années précédentes, dans les provinces de Virginie, de l'Ohio et de la Californie.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

graissage (composés lourds). D'abord très divisée, l'industrie américaine du raffinage s'est plus tard concentrée entre les mains d'un petit nombre de sociétés : M. Riche cite la *Standard Oil Company*, qui distille 88 p. 100 de la production.

Avec des richesses naturelles comme celles dont ils disposent, les États-Unis devaient alimenter presque tout l'univers. Ils approvisionnent l'Europe, les Indes, la Chine, le Japon, l'Australie. La plupart des pays importent surtout de l'huile raffinée; d'autres importent de préférence l'huile brute, pour des raisons tenant à leur régime douanier.

La France, l'Espagne, l'Italie, l'Autriche-Hongrie, où les raffineurs sont protégés par des droits de douane, ont un raffinage très prospère, qui s'est concentré entre les mains de quelques puissants industriels. En France, cette opération se pratique par la méthode américaine. Elle donne successivement des produits gazeux à la température ordinaire (termes inférieurs de la série des hydrocarbures saturés jusqu'au butane), que l'on peut utiliser sur place pour l'éclairage et le chauffage ou condenser par la pression; de l'éther de pétrole (pentane, hexane et heptane), qui sert à l'éclairage par la carburation de l'air et à la production de force motrice; de l'essence minérale (hexane, heptane, octane); de la benzoline, qui dissout les corps gras et détache les étoffes; de l'huile lampante; des produits lourds, déposant de la paraffine et dans certains cas de la vaseline. Elle fournit aussi des oléfines et des hydrocarbures aromatiques. Les huiles lubrifiantes donnent lieu à un raffinage très soigné.

Pendant la période décennale de 1857 à 1866, nous avons reçu en moyenne, chaque année, 18,650,000 kilogrammes d'huiles brutes (commerce spécial) et 1,960,000 kilogrammes d'huiles raffinées. Ces chiffres se sont élevés à 26,440,000 et 12,360,000 kilogrammes pour la période de 1867 à 1876, à 84,200,000 et 16,490,000 kilogrammes pour la période de 1877 à 1886. En 1889, l'importation a été de 164 millions de kilogrammes pour l'huile brute, 20 millions pour l'huile raffinée et les essences, 25 millions pour l'huile lourde. L'exportation est très minime. On peut

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

constater une augmentation notable dans la proportion des entrées d'huiles brutes.

Avant de quitter les pétroles des États-Unis, je dois encore dire deux mots des gaz que certains puits dégagent abondamment (hydrogène, méthane, oléfine, oxyde de carbone, acide carbonique). Ces gaz sont utilisés dans les régions voisines au chauffage et à l'éclairage. Ils ont fait de Pittsburg notamment un centre industriel de premier ordre, où, entre autres fabrications, celles du verre et de l'acier ont pris une extrême importance.

Malgré leur prépondérance, les États-Unis ne possèdent pas seuls des gisements de pétrole.

Bakou, sur les bords de la mer Caspienne (Russie), a des sources d'une fécondité incomparablement supérieure à celle des puits et des fontaines jaillissantes de l'Amérique. La présence du pétrole a été signalée également sur quelques autres points de la Russie. Très faible pendant de longues années, la production n'a atteint le chiffre de 100,000 tonnes qu'en 1875; en 1880, elle était de 352,000 tonnes. Un à-coup prodigieux s'est produit vers cette époque; les statistiques accusent 664,000 tonnes en 1881, 1,478,000 tonnes en 1884, 1,974,000 tonnes en 1886, 2,732,000 tonnes en 1887, 3,183,000 tonnes en 1888 et 3,259,000 tonnes en 1889[1]. Dès 1884, le nombre des puits dépassait 400. L'abondance et la violence du débit sont inouïes. Les États-Unis ont aujourd'hui à compter

[1] D'après les statistiques officielles, la production de la Russie depuis 1873 a été la suivante, en *pouds* de 16 kilogr. 38 :

ANNÉES.	POUDS.	ANNÉES.	POUDS.
1873	4,176,885	1882	50,507,723
1874	5,208,710	1883	60,375,970
1875	8,174,440	1884	90,229,812
1876	10,302,454	1885	116,258,915
1877	12,511,133	1886	120,410,927
1878	15,324,167	1887	166,868,759
1879	21,475,969	1888	194,341,955
1880	21,497,995	1889	198,970,242
1881	40,474,731		

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

avec les pétroles russes pour la vente sur les marchés de l'Extrême-Orient.

Au Caucase, l'industrie des huiles de graissage est plus importante qu'en Amérique, parce que le rendement en huiles lampantes ne dépasse guère 35 p. 100. Les huiles russes, inférieures aux huiles américaines pour les cylindres de vapeur, l'emportent au contraire sur ces huiles pour les autres pièces de machines.

La distillation du pétrole brut, en Russie, se pratique en partie au moyen des anciennes chaudières tartares, en partie au moyen d'appareils plus puissants. On recueille successivement la benzine, les huiles lampantes, l'huile solaire ou pyronaphte et les huiles lubrifiantes.

Il existe aussi des exploitations productives au Canada, spécialement dans l'Ontario; elles ont fait émerger en quelques années la ville de Pétrolia.

Parmi les exploitations qui méritent encore d'être signalées, se trouvent celles d'Alsace, du Hanovre et de Galicie. Pechelbronn (Alsace) donnait un peu plus de 7 millions de kilogrammes en 1886.

L'origine du pétrole est des plus incertaines. Des théories très diverses ont été formulées à cet égard, sans qu'aucune d'elles s'appuie sur des données irréfutables. Certains savants ont attribué la formation du pétrole à l'action de l'eau sur des métaux carburés; d'autres admettent que l'acide carbonique et les métaux alcalins donnent naissance à des acétylures qui, au contact de la vapeur d'eau, produisent de l'acétylène, se transformant lui-même en pétrole et produits goudronneux, sous l'influence de la température et de la pression; d'autres encore cherchent l'origine du pétrole dans les réactions de la vapeur d'eau, de l'acide carbonique et de l'hydrogène sulfuré sur le fer. Les partisans de l'origine neptunienne le considèrent comme résultant de la décomposition des plantes marines et des animaux marins vivant sur le bord des mers primitives; diverses considérations, en particulier l'absence de tout résidu charbonneux, rendent cette hypothèse difficilement acceptable.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ce que l'on sait d'une manière plus positive, c'est que la nature chimique des pétroles est extrêmement complexe et qu'ils contiennent tous de nombreux termes de plusieurs séries d'hydrocarbures, avec une très grande quantité d'isomères de ces corps. Les hydrocarbures saturés, dont le formène est le premier terme, dominent dans le type des pétroles de Pennsylvanie; les pétroles de Bakou renferment surtout des hydrocarbures de Wreden et des naphtylènes.

M. Riche donne dans son rapport des indications pleines d'intérêt sur les essais auxquels sont soumises les huiles minérales, pour la détermination de leur densité, de leur rendement en produits lampants, de leur coefficient de dilatation, de leur indice de réfraction, de leur fluidité, de leur résistance au froid, de leur puissance de graissage, etc. Parmi ces essais, il en est qui ont une importance capitale, soit au point de vue de l'application des lois fiscales, soit au point de vue de l'utilisation des produits.

6. Paraffine, vaseline. — Reichenbach a donné le nom de *paraffine* à un hydrocarbure fusible vers 43 degrés et cristallisable, extrait par lui en 1830 du goudron de bois. Des substances analogues ont été obtenues par la distillation du boghead, du lignite, de la tourbe, des schistes bitumineux, du pétrole. On trouve la paraffine toute formée dans l'*ozokérite* ou cire fossile de Galicie, des Balkans, du Caucase, du Texas, de l'Utah.

En réalité, la paraffine ne constitue pas un produit unique, et l'on comprend sous cette dénomination tout un ensemble de mélanges d'hydrocarbures isomériques et homologues de la série, dont le premier terme est l'hydrure de méthyle ou formène.

M. Riche signale en Europe deux exploitations principales d'ozokérite, en Galicie et dans l'île de Swätoi-Ostrow (Caspienne). Jusqu'en 1878, on s'est contenté d'une simple distillation; aujourd'hui l'industrie soumet l'ozokérite à des manipulations plus complexes, telles que la distillation suivie de traitements à l'acide sulfurique, de lavages et d'une nouvelle distillation : la première distillation se fait sous l'action de vapeur surchauffée.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'Écosse, l'Amérique, la Russie, l'Autriche ont d'assez nombreuses usines fabriquant la paraffine par la distillation du lignite, de la tourbe, du boghead, du cannel-coal, du schiste bitumineux, du pétrole. Quelle que soit la matière première, l'opération comprend la préparation d'un goudron brut par distillation et le traitement de ce produit pour en retirer les huiles d'éclairage et de lubrification, ainsi que la paraffine.

En Angleterre, la paraffine est employée à la confection des bougies, de préférence à la stéarine. Les bougies ainsi préparées sont transparentes et donnent une flamme brillante, mais un peu fuligineuse; on leur reproche de répandre, au moment de l'extinction, plus d'odeur que les bougies stéariques. Depuis quelque temps, les Anglais mélangent à la paraffine une certaine proportion d'acide stéarique.

Indépendamment de son emploi dans la fabrication des bougies, la paraffine sert à faire des enduits, des allumettes, des vernis hydrofuges, à imperméabiliser les tissus, à empeser le linge, à préparer la vaseline; elle est aussi utilisée pour les cartouches.

Quant à l'ozokérite purifiée, l'un de ses usages est malheureusement de falsifier la cire d'abeilles.

La *vaseline* ou *pétréoline*, que l'Amérique du Nord a mise dans le commerce vers 1865, mais qui était à peine employée en Europe lors de l'Exposition de 1878, se place entre les pétroles liquides et les paraffines solides. C'est un mélange fort complexe d'hydrocarbures. On distingue la vaseline naturelle, qui s'extrait directement des huiles lourdes, et la vaseline artificielle, qui s'obtient par un mélange d'huile lourde et de paraffine.

C'est surtout comme excipient en parfumerie et en pharmacie que la vaseline rend d'utiles services; elle sert aussi, avec ou sans le concours des antiseptiques, pour le pansement des plaies, des brûlures: la vaseline naturelle convient mieux à ces usages que la vaseline artificielle. On peut encore citer, entre autres emplois, le graissage et la conservation des cuirs et des objets en métal.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

7. Matières colorantes et couleurs. — Les *matières colorantes organiques artificielles* occupent une place absolument prépondérante. Cependant elles ne datent que d'une époque très récente. M. Wurtz, rapporteur de l'Exposition universelle de 1862 à Londres, écrivait : « La découverte, la fabrication et l'application des matières colorantes « dérivées du goudron de houille et de l'aniline en particulier consti- « tuent sans aucun doute le plus grand progrès que les arts chimiques « aient accompli depuis 1855 ; c'est une nouvelle industrie qui a été « créée, industrie puissante déjà, quoique née d'hier, et remarquable « par la beauté des produits qu'elle livre, par la variété des méthodes « qu'elle emploie, par l'importance des capitaux qu'elle engage ; on « connaît peu d'exemples d'un essor aussi rapide, et d'une interven- « tion aussi directe et aussi utile de la science ».

Comme l'indique la citation précédente du rapport de M. Wurtz, les matières colorantes organiques artificielles ont presque toutes pour origine le goudron de houille, résidu jadis encombrant et presque inutile.

Le goudron de houille, obtenu en quantités immenses comme produit accessoire de la fabrication du gaz ou de celle du coke métallurgique, donne à la distillation des essences et huiles légères, des huiles lourdes, des huiles à anthracène et du brai sec. Dans les huiles et essences légères, on trouve de nombreux hydrocarbures, tels que l'amylène, l'hexylène, l'heptylène, l'hydrure d'amyle, l'hydrure d'hexyle, l'hydrure d'heptyle, l'hydrure d'octyle, la benzine, le toluène, le xylène, le cumène, le cymène, le cinnamène, l'hydrure de cinnamène, ainsi que des phénols et diverses bases parmi lesquelles l'aniline. Les huiles lourdes renferment des carbures d'hydrogène (naphtaline, dihydrure de naphtaline, tétrahydrure de naphtaline), des phénols (phénol, crésol, phlorol), des bases volatiles (cespidine, aniline, pyridine, picoline, lutidine, collidine, parvoline, coridine, rubidine, viridine, leucoline, iridoline, cryptidine), etc. Quant aux huiles à anthracène, elles fournissent des carbures d'hydrogène plus complexes, solides et à point d'ébullition très élevé, notamment l'anthracène, matière première de l'alizarine artificielle. De tous ces

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

corps, les plus importants sont la benzine et ses homologues, le phénol, la naphtaline et l'anthracène, d'où sont sorties les merveilleuses colorations qui parcourent aujourd'hui toute la gamme de l'arc-en-ciel.

C'est à un jeune chimiste anglais, Perkin, que revient l'honneur de la découverte et de la première application industrielle d'une matière colorante nouvelle, dérivée de l'aniline, le violet d'aniline ou violet chromique, obtenu par la transformation de l'aniline sous l'influence du bichromate de potasse (1856). Bientôt M. Verguin, chimiste lyonnais, tirait de l'aniline une autre couleur, successivement nommée *fuchsine, azaléine, magenta, rosaniline.* L'élan était donné, et, dès 1862, M. Wurtz pouvait signaler, outre le violet d'aniline et le rouge d'aniline, des couleurs bleues, vertes et jaunes, empruntées à cette base, et diverses matières colorantes dérivées de l'acide phénique, de la quinoléine et de la naphtaline (azuline, bleu de quinoléine, violet de naphtylamine, etc.).

Depuis, les nuances se sont multipliées à l'infini, embrassant toutes les parties du spectre solaire, donnant des tons d'une pureté et d'un éclat incomparables. Chaque jour on peut croire que la série est épuisée; chaque jour cependant amène des découvertes nouvelles, grâce à l'ardeur infatigable des chercheurs et au concours incessant que se prêtent la science et l'industrie. Chaque jour aussi fait apparaître, non seulement des nuances inattendues, mais des couleurs se fixant mieux aux tissus, présentant plus de solidité, offrant plus de résistance à la lumière, à l'eau, au savon, aux acides.

Les carbures benzéniques (benzine, toluène, etc.), le phénol, la naphtaline et ses dérivés, les corps azoïques, l'anthracène constituent toujours les sources les plus fécondes.

Dans son savant rapport, M. Schützenberger, membre de l'Institut, résume l'ensemble des connaissances acquises en ce qui touche les matières colorantes artificielles, tant au point de vue de leur fabrication qu'à celui de leur nature chimique et de leurs propriétés les plus saillantes. Ne pouvant suivre l'éminent rapporteur dans les détails de son œuvre si substantielle, je me borne à reproduire la classi-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fication qu'il a adoptée d'après le docteur Schultz. Cette classification comprend : 1° les colorants nitrosés; 2° les colorants nitrés; 3° les colorants azoxy; 4° les colorants azoïques, très nombreux, mais résultant tous de l'union d'un sel diazoïque soit avec une amine aromatique, soit avec un phénol; 5° les colorants hydrazoniques; 6° les dérivés colorés du diphénylméthane; 7° les dérivés colorés du triphénylméthane; 8° les dérivés hydroxylés du triphénylcarbinol; 9° les phtaléines; 10° les matières colorantes anthracéniques; 11° les indophénols; 12° les oxazines; 13° les matières colorantes thionées ou sulfurées; 14° les azines et les eurhodines; 15° les safranines; 16° les indulines; 17° des matières colorantes diverses. Les couleurs énumérées dans le rapport de M. Schützenberger se chiffrent par centaines.

Le développement prodigieux des colorants extraits du goudron de houille a singulièrement réduit le domaine des *matières tinctoriales organiques naturelles.*

Jusqu'en 1856, ces matières, empruntées le plus souvent au règne végétal et parfois au règne animal, constituaient tout l'arsenal du teinturier pour la coloration des fibres et des tissus.

La *garance,* cultivée dès les temps les plus anciens dans le Levant, à Andrinople, à Smyrne, à Chypre, employée dès la plus haute antiquité par les Égyptiens, les Perses, les Indiens, avait créé une véritable richesse agricole dans le Comtat d'Avignon et sur certains points de l'Alsace, de la Hollande, de la Silésie. On en tirait la poudre de garance (pulvérisation des racines préalablement desséchées à l'étuve), la fleur de garance (lavage de la poudre de garance à l'eau légèrement acidulée), la garancine (action de l'acide sulfurique sur la garance lavée), l'alizarine (traitement de la garancine par la vapeur surchauffée), le carmin de garance (action à froid de l'acide sulfurique sur la fleur sèche et précipitation par l'eau). La garance devait son pouvoir colorant à l'alizarine et à la purpurine. Depuis la découverte de l'alizarine artificielle, les cultures de garance ont presque disparu.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Comme la garance, la *cochenille*, le *carthame*, les bois *rouges*, ont été détrônés.

Quelques colorants naturels subsistent, grâce à leur solidité et à la faiblesse de leur prix de revient. Tout d'abord c'est l'*indigo*, fourni principalement par les Indes et l'Amérique centrale. L'indigo se fabrique sur place par la macération dans l'eau des feuilles et des tiges de l'indigotier : après s'être dissoute, la matière colorante se précipite, sous l'influence de l'oxydation à l'air, en flocons bleus que l'on dessèche. Tantôt l'indigo est utilisé tel quel, tantôt il est purifié; on en emploie aussi pour fabriquer des acides sulfindigotiques et des sulfindigotates de soude (carmins d'indigo). La science est parvenue à reconstituer l'indigotine, en partant des dérivés du goudron de houille; elle a même trouvé dans ce but divers procédés, dont l'un consiste à chauffer en présence d'un alcali un mélange d'aldéhyde benzoïque orthonitré et d'acétone; néanmoins l'indigotine artificielle ne remplace pas, du moins jusqu'à ce jour, l'indigotine naturelle.

Bien qu'ayant perdu du terrain, l'*orseille* vit encore. Elle s'obtient par la transformation de certains lichens et offre des teintes variant du rouge grenat au rouge violacé et au violet. L'érythrine constitue le principe le plus important de la plupart des lichens à orseille; elle se décompose facilement, en donnant de l'érythrite et de l'orcine, que la double action de l'ammoniaque caustique et de l'oxygène de l'air transforme en orcéine et colore en rouge violacé.

Je citerai encore comme ayant conservé leurs usages le *bois de campêche* et ses extraits, le *quercitron*, le *bois jaune*, le *sumac*, la *noix de galle*, le *quebracho*. Loin de diminuer, l'importation des bois de teinture s'est accrue. Dans la fabrication des extraits de ces bois, le problème à résoudre est d'en concentrer le principe colorant sous un petit volume, à l'état liquide ou solide. Ordinairement on traite la matière ligneuse par l'eau; puis on soumet la liqueur à l'évaporation, soit sous la pression atmosphérique, soit sous une pression réduite, ce qui évite, avec le contact de l'oxygène de l'air, une trop grande élévation de température et conserve la pureté des couleurs. Quelquefois il faut ajouter certains réactifs destinés à maintenir les principes

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

colorants en solution, à empêcher leur altération et à précipiter des corps étrangers.

Parmi les *couleurs minérales*, il suffira de mentionner ici le *blanc de céruse*, le *massicot* et le *minium*, le *blanc de zinc*, le *vermillon*, le *bleu de Prusse*, le *bleu de Brême*, les *bleus de cobalt*, le *vert de Schweinfurt*, les *verts de zinc* ou *de plomb*, les *jaunes* ou *oranges de chrome*, le *jaune de zinc*, les *jaunes de cadmium*, les *jaunes de murexide*, les *ocres*, les *miniums de fer*, les *bruns van Dyck*, l'*outremer*.

Jadis l'outremer se tirait du lapis-lazuli et coûtait 125 francs l'once. Guimet acquit en 1826 une véritable célébrité par son invention de l'outremer artificiel : on obtient ce produit en chauffant à 700 degrés un mélange de kaolin, de carbonate de soude, de charbon, de soufre et quelquefois de silice.

8. Encres d'imprimerie, cirages, etc. — L'essor pris au XIX^e^ siècle par le livre et surtout par le journal a fait de l'industrie des *encres d'imprimerie* une industrie assez considérable pour mériter que nous nous y arrêtions quelques instants. M. Lorilleux, rapporteur du jury de la classe 45, cite un chiffre à retenir, parce qu'il permet de se faire une idée de la consommation : chaque millier d'exemplaires d'un journal quotidien de grand format absorbe en moyenne 700 grammes d'encre.

L'encre d'imprimerie consiste en un mélange intime de colorant et de vernis gras.

Comme vernis gras, on emploie de l'huile de lin cuite. Il faut avant tout que l'huile ait été débarrassée par une longue clarification des matières albuminoïdes qui y sont contenues. La cuisson l'amène à l'état de viscosité voulu. Parfois le vernis gras est additionné de résine et d'huile de résine, pour les encres communes, quand la dessiccation doit être pour ainsi dire instantanée.

Les matières colorantes doivent être dans un état d'extrême ténuité, de telle sorte que chaque particule soit complètement enrobée dans le vernis; leur objet est, non de teindre, mais de couvrir.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pour l'encre noire, on se sert de noir de fumée. Recueilli dans de grandes chambres de condensation des fumées, le noir subit encore une ou plusieurs calcinations en vase clos ou un traitement chimique, qui le purifient de ses matières goudronneuses.

Les impressions polychromes et par suite la consommation des encres de couleur ont pris beaucoup de développement durant ces dernières années. A côté des anciennes couleurs d'origine minérale, les fabricants se sont efforcés d'utiliser les couleurs végétales et celles qui dérivent des hydrocarbures; ils y sont arrivés, au moins dans une certaine mesure, par la production de laques spéciales. Pour les couleurs tirées des hydrocarbures, l'écueil est le peu de stabilité de plusieurs d'entre elles. En tout état de cause, les couleurs doivent être divisées à l'infini par le broyage.

Ce n'est pas chose aussi facile qu'on pourrait le croire, de fabriquer une bonne encre d'imprimerie. Celle des premières impressions du XV^e^ siècle présentait les qualités désirables; elle a résisté à l'œuvre destructive du temps. Il n'en a pas été de même pour les impressions postérieures, et, pendant la première moitié de ce siècle, on pouvait encore entendre les doléances des éditeurs se plaignant de ce que l'encre maculât et souillât les plus belles éditions.

Outre les encres d'imprimerie proprement dites, le rapport de la classe passe en revue toute une série de produits analogues, notamment les encres spéciales pour l'impression des papiers-valeurs, les encres dites *communicatives*, et les encres pour impressions phototypiques, dans lesquelles les matières colorantes doivent posséder leur maximum d'intensité et le vernis être aussi peu tirant que possible.

Autrefois l'encrage des planches se faisait exclusivement à la balle, c'est-à-dire au tampon recouvert de peau de chien. Senefelder imagina en 1808, pour la lithographie, les cylindres en bois garnis de cuir de veau, que les constructeurs Kœnig et Bauer adaptèrent à leur première machine à imprimer. Peu après, en 1819, Gannal inventait la composition de mélasse et de colle forte, dont beaucoup d'imprimeurs font encore usage, concurremment avec les compositions nouvelles à base de gélatine.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les qualités que doit réunir l'*encre à écrire* sont la fluidité, la coloration, la fixité.

Il y a deux mille ans, les Grecs et les Romains se servaient d'encres où le noir de fumée était associé à des sels de fer. Aujourd'hui l'encre à écrire ordinaire est le plus souvent colorée par un composé dû à l'action du sulfate ferreux sur les principes contenus dans la décoction ou l'infusion de noix de galle, particulièrement sur l'acide tannique et l'acide gallique; en y ajoutant un principe colorant de grande résistance, comme le noir de fumée, le bleu de Prusse, l'indigo, on obtient une encre indélébile; une addition de sucre ou un excès de gomme dans une encre riche en principes colorants solubles fournit l'encre communicative.

Comme son prédécesseur de 1878, le rapporteur du jury de 1889 critique l'abus des colorants extraits de la houille et des colorants végétaux, qui manquent de fixité.

On donne le nom de *cirages* à des enduits qui s'appliquent sur le cuir, pour le teindre, lui donner du brillant et en conserver la souplesse. Les cirages se divisent en cirages se présentant sous la forme d'une pâte plus ou moins solide (noir de fumée ou autre malaxé avec des matières sucrées et des corps gras) et cirages fluides (encres à base de fer, additionnées d'un épaississant). C'est une industrie dans laquelle la prépondérance appartient aux fabricants français.

M. Lorilleux insiste sur les dangers que présente l'addition de certaines matières, acide sulfurique, vinaigre, glycérine. L'inoffensive glycérine a le défaut de détruire les effets du tannage.

Citons encore les graisses destinées à assouplir le cuir et à le défendre contre l'humidité, ainsi que les vernis imperméabilisateurs à base de caoutchouc ou de gutta-percha. Pour ces produits, de même que pour les cirages, il faut éviter soigneusement tout ce qui pourrait altérer le cuir.

9. Caoutchouc et gutta-percha. — Les indications déjà données

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

précédemment, tome V, page 590, et tome VI, page 109, au sujet du caoutchouc et de la gutta-percha me dispensent d'entrer dans de nouveaux détails.

Je me borne à signaler, d'une part, la fabrication de caoutchoucs factices, imaginés dès avant 1850 par MM. Sace et Jonas qui traitaient à cet effet l'huile de lin par l'acide azotique, d'autre part, l'utilisation des déchets de caoutchouc, même de ceux qui ont subi la vulcanisation.

10. Produits à l'usage des sciences; alcaloïdes. — Jusqu'ici la *lithine* n'a guère été employée que comme médicament; mais elle pourrait sans doute recevoir beaucoup d'autres applications. La Saxe, la Norvège, les États-Unis ont un minéral très rare, l'amblygonite (fluophosphate d'alumine, de lithine et de soude); un gisement de ce minéral a été découvert à Montebras (Creuse). On extrait la lithine de l'amblygonite par la calcination avec du plâtre, par l'épuisement de la poudre ainsi obtenue au moyen de l'eau distillée et par un traitement de la liqueur au carbonate de soude ou au carbonate de potasse. Le carbonate de lithine préparé de cette façon à Billancourt lutte avantageusement contre le produit tiré de la lépidolithe par les Allemands.

Une innovation heureuse permet d'utiliser le *sulfure d'argent* dans la bijouterie.

Des progrès notables ont été réalisés dans l'industrie des produits chimiques employés comme parfums. La *vanilline* artificielle est connue depuis 1874 et se prépare plus spécialement par l'oxydation de l'acétyleugénol; supérieure à la vanille en gousses, même en qualité de condiment, elle a gagné beaucoup de terrain depuis 1878. En 1876, on a trouvé que les fleurs d'héliotrope devaient leur odeur au *pipéronal* ou *aldéhyde pipéronylique* et à la vanilline : le pipéronal s'obtient par l'oxydation de l'acide pipérique, qui lui-même est tiré de diverses espèces de poivres; de là l'*héliotropine*. Une réaction convenable de l'anhydride acétique sur l'aldéhyde salicylique sodé fournit la *coumarine* des fèves Tonka; toutefois cette production synthétique a perdu

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

beaucoup de son intérêt depuis l'introduction dans le commerce des feuilles du *Liatris odoratissima*, plante du sud des États-Unis, aussi riche en coumarine que la fève Tonka. L'Exposition de 1889 a révélé une incontestable nouveauté dans le *musc artificiel*, dérivé polynitré de l'isobutyltoluène : la même dénomination était auparavant attribuée à d'autres produits très imparfaits; l'odeur du musc artificiel, bien que semblable à celle du musc naturel, paraît tenir à un principe différent. En distillant l'acide vanillique sur un excès de chaux, on a du *gaïacol;* la transformation du gaïacol en son éther méthylique ou éthylique donne deux substances, le *vératrol* et l'*éthylméthylpyrocatéchine*, remarquables par leur odeur safranée; le vératrol se tire aussi de l'acide vératrique que renferment un assez grand nombre de végétaux. Diverses réactions, telles que l'oxydation par l'acide nitrique de l'anéthol contenu dans les essences d'anis, de fenouil et d'estragon, fournissent l'*aldéhyde anisique*, possédant l'odeur de l'aubépine; des dérivés de l'aldéhyde anisique sont aussi employés comme parfums.

L'*acide salicylique* a conquis sa place dans les pharmacopées. A peine naissante en 1878, la fabrication industrielle de cet acide s'est quelque peu modifiée à une date très récente. On le produit en traitant le phénol sodé par l'acide carbonique sous pression; la réaction donne du phénylcarbonate de soude, qui se transforme en son isomère, le salicylate de soude; l'acide salicylique est précipité par l'acide chlorhydrique.

Une autre fabrication, intimement liée à la précédente, est celle de l'*acide carbonique liquide*. Ce gaz, comprimé successivement à 5, 25 et 60 atmosphères, se liquéfie dans un serpentin refroidi. On le recueille dans des récipients cylindriques en fer forgé, munis de robinets. Il est employé, non seulement à la production de l'acide salicylique, mais aussi à la mise en pression de la bière, à la préparation des eaux gazeuses, à la filtration du vin, à la solidification sans soufflures des métaux fondus.

L'éther salicylique du phénol, ou *salol*, employé en médecine pour ses propriétés antiseptiques, se prépare de diverses manières, par

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

exemple en faisant réagir l'oxychlorure de phosphore sur l'acide salicylique et le phénol, ou l'oxychlorure de carbone sur le salicylate de soude et le phénol sodé.

Un industriel russe a révolutionné le commerce de la *santonine* et réduit des neuf dixièmes, pendant la période de 1878 à 1889, le prix de ce médicament précieux, en créant un vaste centre de fabrication à Tachkend (Turkestan). Le semen-contra est mis en macération avec de la chaux et forme du santoninate de chaux soluble; traitée successivement par l'acide carbonique, le carbonate de soude et l'acide sulfurique, la liqueur laisse cristalliser la santonine brute, que l'on purifie par l'alcool.

Différentes variétés de *Strophantus*, venant de la côte ouest d'Afrique, fournissent des substances toxiques, dites *strophantines*, qui ont été récemment étudiées.

Le prix du *sulfate de quinine*, évalué à 450 francs environ pour l'année 1880, est tombé à 40 francs en 1889. Cette dépression tient principalement au succès inespéré des cultures de cinchonas et à la richesse en alcaloïdes de l'écorce des arbres cultivés. Ceylan, qui n'exportait pas plus de 17,000 livres anglaises d'écorce vers l'Europe, il y a quinze ans, a dépassé le chiffre de 15 millions de livres; l'Inde anglaise continentale accuse en 1889 une exportation de 3 millions de livres; pendant la même année, Java a exporté 4,400,000 livres hollandaises. Ainsi les colonies asiatiques expédient près de 8 millions de kilogrammes d'écorces de quinquina. L'Amérique du Sud, voyant s'appauvrir les forêts de cinchonas sauvages, a entrepris de son côté des cultures dont le succès est d'ores et déjà assuré. Tandis que les écorces non cultivées de *Cinchona calissaya* étaient relativement pauvres en alcaloïdes autres que la quinine, les écorces cultivées contiennent en général une forte proportion de cinchonidine; il a fallu, par suite, depuis 1878, pousser plus loin la purification du sulfate de quinine. Des fabriques de ce sulfate ont été établies dans les Indes anglaises et commencent à porter ombrage aux fabriques européennes.

M. Tanret a découvert dans le seigle ergoté un alcaloïde nouveau,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'*ergotinine*, dont M. Jungfleisch décrit dans son rapport la préparation fort délicate; cette substance toxique est utilisée par la médecine. C'est également M. Tanret qui a isolé, dans l'écorce de racine de grenadier (réputée comme tœnifuge), la *pelletiérine*, l'*isopelletiérine*, la *méthylpelletiérine* et la *pseudopelletiérine* : les deux derniers alcaloïdes sont sans effet utile; les deux premiers, au contraire, constituent des agents actifs entrés dans le domaine de la thérapeutique. Le même chimiste est parvenu à préparer une combinaison de cinnamate de soude et de *caféine*, ainsi que le salicylate et le benzoate correspondants.

La production de la *cocaïne* a beaucoup augmenté dans ces derniers temps. Au lieu de la fabriquer avec la coca importée, l'Europe reçoit maintenant la cocaïne brute de l'Amérique du Sud et se borne à la purifier.

Quoique n'étant pas nouvelle, l'introduction de produits chimiques artificiels dans la thérapeutique a pris une grande extension depuis 1878. Parmi les médicaments nouveaux de cette nature, le premier rang appartient à l'*antipyrine* ou *analségine*, qui a rendu de très réels services lors de la dernière épidémie de grippe : l'antipyrine est un dérivé de la méthylphénylhydrazine.

11. Préparations pharmaceutiques. — La situation économique de la pharmacie en France s'est profondément modifiée depuis le commencement du siècle. Jadis c'était une profession presque libérale, plus difficilement accessible à cause des prix élevés des officines, bien que dans l'ensemble les connaissances scientifiques des pharmaciens fussent moins étendues.

Aujourd'hui la valeur des officines a notablement baissé. Cette dépréciation tient à des causes assez nombreuses, parmi lesquelles il y a lieu de citer l'accroissement du nombre des pharmacies, l'augmentation des frais généraux, la concurrence plus active, l'entrée dans le domaine d'autres professions de produits qui n'ont pas un caractère exclusivement médicamenteux, la simplification des remèdes par suite des découvertes incessantes de la chimie, enfin et surtout la créa-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tion des spécialités, ainsi que l'organisation d'usines fabriquant en grand les produits pharmaceutiques.

Les pharmaciens proprement dits n'ont guère paru à l'Exposition internationale de 1889 que par une exposition scientifique collective, et en partie rétrospective, qui présentait d'ailleurs le plus haut intérêt.

Au contraire, les spécialités et la grande industrie des préparations pharmaceutiques étaient largement représentées au Champ de Mars.

Certaines spécialités constituent des découvertes éminemment utiles à l'humanité; d'autres ne sont que des œuvres de charlatanisme, dont tout le succès repose sur une réclame effrénée. Le comité d'admission a su, avec beaucoup de tact et d'énergie, écarter ce qui n'était point digne de figurer à nos assises du travail.

La grande industrie des préparations pharmaceutiques est fort intéressante à étudier. Ceux qui la pratiquent doivent élaborer des substances très variées, livrer un nombre considérable de produits différents, apporter un soin minutieux à leurs manipulations, assurer la rigueur absolue des dosages, offrir des matières d'une pureté irréprochable, réunir la science aux qualités de l'industriel, savoir mettre en œuvre les progrès de la mécanique. Si les procédés fondamentaux sont restés les mêmes depuis 1878, l'amélioration n'en est pas moins réelle, la fabrication plus soignée, l'emploi des machines plus général.

M. Riche signale, dans son introduction aux divers rapports du jury de la classe 45, plusieurs faits nouveaux qui se dégagent de l'Exposition de 1889. Les substances simples tendent à se substituer de plus en plus aux mélanges complexes : il en résulte des avantages manifestes pour la précision des dosages. De précieuses acquisitions ont été réalisées dans les glucosides et surtout dans les alcaloïdes, ainsi que dans les dérivés de la houille; la cocaïne et l'antipyrine méritent une mention spéciale.

Le rapport spécial sur les produits pharmaceutiques passe successivement en revue les poudres, les huiles médicinales, les extraits, les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tablettes, les granules, pilules, dragées et poudres comprimées, les capsules, les tissus et papiers médicinaux, les sinapismes en feuilles, les pansements antiseptiques, les ferments. C'est une carrière trop longue à parcourir pour le rapporteur général, qui se limitera à des indications sommaires sur les extraits et les ferments.

Malgré l'extension donnée à l'emploi des principes actifs définis, les extraits de plantes médicinales occupent encore une grande place. Le procédé de concentration par l'évaporation dans le vide s'est généralisé. Ce procédé ne dispensant pas complètement de recourir à la chaleur et favorisant la disparition de quelques matières très volatiles, on a proposé et essayé en grand une autre méthode basée sur la concentration des liquides aqueux par une congélation partielle plusieurs fois répétée.

En 1878, la pepsine était le seul ferment d'un usage répandu. A peine connaissait-on la diastase et la pancréatine. De 1878 à 1889, un grand pas a été franchi dans la préparation de ces matières si facilement altérables. L'emploi de la pepsine a suggéré celui des peptones, de manière à introduire dans l'estomac des albuminoïdes immédiatement assimilables.

Les intéressés se sont souvent plaints du prix relativement élevé de l'alcool et de l'éther, c'est-à-dire des principaux agents employés au traitement et à la purification des produits organiques; d'après les réclamants, notre régime fiscal serait une entrave à la production nationale et nous conduirait à prendre dans divers pays étrangers, spécialement en Allemagne, une partie de nos approvisionnements. M. Riche discute ces plaintes avec toute l'attention dont elles sont dignes, les ramène à leur juste valeur, montre les immunités susceptibles d'être acquises par la dénaturation, indique différentes substances qui pourraient remplacer l'alcool ou l'éther, par exemple l'alcool méthylique et les produits légers du pétrole.

12. Huile de foie de morue. — L'*huile de foie de morue* s'est fabriquée de temps immémorial pour l'industrie des cuirs; elle n'est devenue un produit médicamenteux qu'après 1830.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En Norvège, on produit de l'huile blanche, de l'huile ambrée ou jaune naturelle et de l'huile blanche-brune. L'huile blanche se fait avec des foies frais, que l'on place dans des bassines à double fond chauffées par la vapeur; la matière huileuse est soumise à l'action du froid, qui précipite des corps gras solides. L'huile ambrée, ordinairement préparée avec moins de soin, résulte de la fermentation de foies plus ou moins altérés. Enfin l'huile blanche-brune est obtenue par une fermentation prolongée en barils clos.

Terre-Neuve (côte anglaise) fabrique de l'huile blanche, de l'huile blonde ou jaune foncé, de l'huile brune, de l'huile noire.

Nous sommes très en retard sur les Anglais, qui sont eux-mêmes fort distancés par les Norvégiens.

Au point de vue thérapeutique, la supériorité de l'huile blanche n'est généralement reconnue qu'en Angleterre. Chez nous, l'huile ambrée tend de plus en plus à obtenir la préférence, et, si les médecins français laissent employer l'huile blanche, ce n'est guère que par concession pour les estomacs trop délicats. Plusieurs spécialistes, convaincus des mérites de l'huile blonde ou brune, les attribuent à l'existence, dans ce produit, de l'acide morrhuique et de divers alcaloïdes. Il semble que, d'une manière générale, l'huile de foie de morue agit principalement par ses corps gras, son iode, son brome et son phosphore.

13. Enseignement pratique de la chimie. — Après avoir rappelé que la science est la base de l'industrie moderne, M. Riche dresse à la fin de son rapport un inventaire fort intéressant des institutions où se distribue l'enseignement technique de la chimie.

L'État n'a peut-être pas donné jusqu'ici à cet enseignement toute l'ampleur que justifieraient l'état actuel de la science et les besoins de l'industrie moderne. En parcourant ses écoles, on n'y trouve que des cours s'adressant à un petit nombre d'élèves, presque toujours spécialisés, et parfois tout à fait insuffisants.

Il y a là une lacune à laquelle les municipalités et l'initiative individuelle se sont efforcées de pourvoir, avec ou sans le concours pécuniaire

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de l'État, partout où le mouvement industriel était assez intense pour motiver la création d'écoles et de cours : Paris, Lyon, Bordeaux, Lille, Rouen, Nantes, Reims, Nancy, Épinal, etc., sont entrés dans cette voie. Depuis 1878, Paris a été doté d'une école supérieure d'enseignement technique de la chimie, dont la direction est confiée à M. Schützenberger, membre de l'Institut, ancien directeur de l'École de Mulhouse; la Société chimique, par ses conférences et son bulletin, contribue efficacement à la diffusion des connaissances de chimie industrielle. A Lyon, existe depuis 1883 une belle école dirigée par M. Raulin, professeur de la Faculté des sciences : la Faculté, la Chambre de commerce, la ville, le département et l'État subventionnent cet établissement.

14. Statistique commerciale. — Les statistiques de la douane accusent les chiffres suivants pour le commerce extérieur de la France depuis 1827 :

PÉRIODES OU ANNÉES.	PRODUITS CHIMIQUES autres QUE LE NITRATE DE SOUDE.		NITRATE DE SOUDE.		SAVONS AUTRES QUE CEUX DE PARFUMERIE [1].		BOUGIES.	
	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation [2].
	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
1827 à 1830.. (Moyenne.)	5,550,000	5,350,000	"	"	"	1,690,000	5,600	17,000
1831 à 1840.. (*Idem.*)	4,220,000	7,130,000	850,000	"	"	1,850,000	4,100	275,000
1841 à 1850.. (*Idem.*)	3,810,000	10,150,000	2,470,000	12,000	"	2,700,000	4,600	2,620,000
1851 à 1860.. (*Idem.*)	5,670,000	22,190,000	3,670,000	46,000	"	5,360,000	8,600	6,480,000
1861 à 1870.. (*Idem.*)	11,340,000	48,670,000	5,730,000	930,000	25,000	7,840,000	80,000	6,770,000
1871 à 1880.. (*Idem.*)	25,850,000	45,860,000	16,530,000	1,740,000	170,000	9,590,000	490,000	7,180,000
1881.....	37,500,000	56,400,000	14,140,000	2,390,000	173,000	9,460,000	114,000	7,150,000
1882.....	41,900 000	63,000,000	21,700,000	2,590,000	319,000	8,580,000	130,000	6,070,000
1883.....	46,600,000	59,700,000	23,800,000	3,640,000	271,000	7,480,000	226,000	7,050,000
1884.....	45,200,000	59,700,000	19,000,000	2,980,000	255,000	7,350,000	201,000	8,730,000
1885.....	35,100,000	49,600,000	17,900,000	2,770,000	231,000	8,100,000	212,000	7,340,000
1886.....	38,300,000	46,200,000	17,470,000	2,220,000	162,000	7,680,000	160,000	6,700,000
1887.....	45,300,000	46,300,000	21,640,000	1,850,000	151,000	6,680,000	151,000	6,120,000
1888.....	43,600,000	43,500,000	36,460,000	2,160,000	228,000	6,290,000	88,000	5,980,000
1889.....	45,100,000	47,500,000	40,850,000	2,060,000	183,000	4,840,000	85,000	6,880,000

[1] Les savons de parfumerie sont compris dans la statistique de la parfumerie, tome V, page 244.
[2] Y compris les bougies exportées à la décharge d'admissions temporaires d'huile de palme et de suif brut.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

PÉRIODES OU ANNÉES.	HUILES DE PÉTROLE				COULEURS (1).		TEINTURES PRÉPARÉES.	
	BRUTES OU LOURDES.		RAFFINÉES. ESSENCES.					
	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.
	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
1827 à 1830.. (Moyenne.)	"	"	"	"	380,000	1,110,000	17,530,000	423,000
1831 à 1840.. (*Idem.*)	"	"	"	"	580,000	1,770,000	21,760,000	600,000
1841 à 1850.. (*Idem.*)	"	"	"	"	580,000	4,410,000	22,870,000	4,080,000
1851 à 1860.. (*Idem.*)	"	"	"	"	540,000	5,830,000	22,270,000	6,150,000
1861 à 1870.. (*Idem*)	8,100,000	3,190,000	820,000	130,000	2,540,000	8,290,000	33,110,000	25,110,000
1871 à 1880.. (*Idem.*)	13,270,000	5,380,000	65,000	430,000	3,880,000	10,020,000	39,070,000	28,190,000
1881	19,320,000	4,550,000	151,000	1,960,000	4,860,000	9,400,000	39,970,000	35,070,000
1882	16,080,000	4,050,000	177,000	2,190,000	4,950,000	9,120,000	39,060,000	33,480,000
1883	21,570,000	3,950,000	228,000	2,310,000	4,170,000	9,220,000	38,090,000	34,270,000
1884	24,520,000	3,840,000	178,000	2,330,000	4,180,000	8,240,000	37,950,000	26,650,000
1885	25,760,000	2,900,000	256,000	1,270,000	4,070,000	7,790,000	38,780,000	24,520,000
1886	23,610,000	3,080,000	228,000	1,120,000	4,380,000	7,630,000	29,210,000	26,400,000
1887	19,700,000	4,050,000	130,000	26,000	4,250,000	8,270,000	29,970,000	29,030,000
1888	25,750,000	2,920,000	151,000	35,000	4,000,000	8,520,000	29,060,000	27,910,000
1889	31,690,000	3,820,000	131,000	21,000	4,550,000	8,170,000	22,380,000	28,800,000

(1) Y compris les vernis.

PÉRIODES OU ANNÉES.	CIRAGE.		OUVRAGES EN CAOUTCHOUC OU GUTTA-PERCHA.		MÉDICAMENTS COMPOSÉS.	
	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.	Importation.	Exportation.
	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.
1827 à 1830.. (Moyenne.)	"	13,000	"	"	3,600	1,590,000
1831 à 1840.. (*Idem.*)	"	22,000	27,000	"	2,100	2,260,000
1841 à 1850.. (*Idem.*)	"	103,000	84,000	570,000	2,600	3,690,000
1851 à 1860.. (*Idem.*)	"	144,000	1,150,000	5,230,000	1,100	7,470,000
1861 à 1870.. (*Idem.*)	8,500	326,000	2,950,000	3,330,000	3,000	11,470,000
1871 à 1880.. (*Idem.*)	24,000	1,210,000	4,900,000	5,080,000	91,000	11,350,000
1881	51,000	1,210,000	4,480,000	5,770,000	50,000	12,680,000
1882	81,000	1,070,000	5,970,000	5,730,000	67,000	12,880,000
1883	109,000	950,000	5,300,000	5,570,000	80,000	13,140,000
1884	92,000	1,020,000	5,190,000	6,580,000	91,000	12,760,000
1885	91,000	1,040,000	5,340,000	7,590,000	67,000	11,310,000
1886	67,000	950,000	5,140,000	7,820,000	139,000	12,660,000
1887	59,000	1,160,000	5,030,000	6,900,000	114,000	13,020,000
1888	57,000	870,000	5,420,000	7,030,000	122,000	14,570,000
1889	85,000	880,000	5,120,000	7,540,000	134,000	14,370,000

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Voici quels sont les principaux pays de provenance des matières importées : acide nitrique, Italie; acide stéarique, Angleterre, Allemagne, Belgique; oxydes de plomb, Belgique, Angleterre, Allemagne, Pays-Bas; potasse et carbonate de potasse, Allemagne; soude caustique, Angleterre; sels ammoniacaux, Angleterre; chlorure de potassium, Allemagne; chromates de potasse et de soude, Angleterre; nitrate de potasse, Indes anglaises, Allemagne; sulfate de cuivre, Angleterre; tartrate de potasse, Espagne, Portugal; produits dérivés du goudron, Angleterre, Belgique, Allemagne; nitrate de soude, Pérou, Bolivie, Chili; savons, Angleterre, Allemagne, Belgique; bougies, Angleterre; huile de pétrole brute, États-Unis; huile de pétrole raffinée, États-Unis, Angleterre; huiles de pétrole lourdes, Russie, États-Unis, Angleterre; outremer, Allemagne, Belgique; vernis, Angleterre; cochenille, Espagne; indigo, Indes, Nouvelle-Grenade, Angleterre; cachou, Indes; alizarine artificielle, Allemagne; cirage, Angleterre; ouvrages en caoutchouc ou en gutta-percha, Angleterre, Allemagne, Belgique.

Notre exportation est surtout dirigée vers les destinations ci-après : acide gallique, Angleterre, Belgique, Allemagne; acide oléique, Belgique, Angleterre, Allemagne, Italie, Suisse, Espagne; acide stéarique, Angleterre, Italie, Belgique; acide sulfurique, Belgique, Suisse, Portugal; acide tartrique, Espagne; oxyde de zinc, Angleterre, Belgique; potasse et carbonate de potasse, Belgique, Angleterre; sel de soude, Belgique, Espagne, Italie; sels ammoniacaux, Belgique; chlorure de chaux, Espagne, Italie, Russie; glycérine, États-Unis, Angleterre, Pays-Bas, Belgique; sulfate de soude, Belgique; tartre brut, Angleterre, États-Unis; crème de tartre, Angleterre; produits dérivés de la houille, Belgique, Allemagne; nitrate de soude, Belgique; savons, Algérie, Suisse, Belgique, Allemagne, Guadeloupe, Martinique, etc.; bougies, Algérie et divers pays; ocres, Angleterre, Russie, Allemagne, États-Unis; vernis, Espagne, Belgique, République Argentine, Brésil, Algérie, etc.; cochenille, Turquie; indigo, Espagne, Allemagne, Belgique; extraits de bois de teinture, Angleterre, Allemagne, Belgique; cirage, États-Unis, Belgique, Angleterre;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ouvrages en caoutchouc ou en gutta-percha, Angleterre, Belgique, Allemagne; médicaments composés, Brésil, République Argentine, Nouvelle-Grenade, Espagne, Mexique, possessions espagnoles d'Amérique, Uruguay.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE VI.

PROCÉDÉS CHIMIQUES DE BLANCHIMENT, DE TEINTURE, D'IMPRESSION ET D'APPRÊT[1].

1. Observations diverses sur les fibres textiles. — Entre le moment où elles sont enlevées à leur lieu d'origine et celui où elles apparaissent sous forme de tissu teint ou imprimé, les fibres textiles subissent de nombreuses manipulations pour lesquelles l'habileté du mécanicien, la science du chimiste et l'art du dessinateur se prêtent un mutuel concours. C'est surtout le rôle de la chimie que nous avons à examiner dans ce chapitre.

La chimie ne se borne pas à extraire les matières colorantes élaborées par les êtres vivants et spécialement par les végétaux, à créer de toutes pièces des couleurs bien plus riches, plus belles et plus variées que celles dont la nature a elle-même réuni et combiné les éléments. Il ne suffit pas d'avoir une palette abondamment pourvue : il faut savoir appliquer les couleurs, les fixer, leur donner la résistance voulue. Ici encore, la chimie intervient activement et fournit, pour chaque textile, pour chaque matière tinctoriale, les meilleures méthodes d'application, les procédés les plus convenables de blanchiment, de teinture et d'impression.

Ces procédés changent notablement avec la nature des textiles. Suivant leur origine, les fibres possèdent une composition chimique et des propriétés distinctes; tandis que les fibres végétales sont principalement composées de cellulose, la laine et la soie appartiennent au groupe des matières azotées, protéiques ou albuminoïdes, et l'on conçoit sans peine que de telles différences dans la composition entraînent

[1] Voir *infra*, treizième partie, chapitre XI, *Matériel et procédés de la papeterie, des teintures et des impressions.*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des différences correspondantes dans l'action des réactifs. Sans influence marquée sur la cellulose et sur les fibres végétales, les alcalis dissolvent au contraire et altèrent profondément la laine et la soie; quant aux acides, ils respectent la laine et détruisent le coton, le chanvre, le lin. De nombreuses matières colorantes, en particulier celles qui dérivent de l'aniline, se combinent directement à la fibroïne de la soie et à la laine, et ne présentent que fort peu d'affinité pour le coton.

Si élémentaire qu'il soit, ce simple aperçu permet de comprendre l'infinie variété des moyens mis en œuvre par les industries de la classe 46, le caractère chaque jour plus scientifique des industries rangées dans cette classe.

Au début de son rapport, M. Jules Persoz rappelle un certain nombre de faits intéressants qui se rattachent à l'étude attentive des fibres textiles et de l'action exercée sur elles par les alcalis, les acides ou les sels.

On sait que les lessives caustiques suffisamment concentrées peuvent contracter dans une forte proportion les fibres végétales. Cette propriété est mise à profit par plusieurs industriels, pour produire des reliefs sur les tulles de coton : il suffit de passer ces tulles en soude caustique, après y avoir ménagé des réserves à la gomme, afin de limiter la contraction à certaines parties du tissu.

Un autre effet analogue est celui du bosselage, obtenu par les alcalis concentrés sur des tissus mixtes en fils de coton et en fils de laine ou de soie. Les fibres végétales se contractent, alors que les fibres animales conservent leur longueur; on doit avoir soin de ne pas prolonger l'action des alcalis et d'opérer à basse température, faute de quoi la laine et la soie risqueraient d'être dissoutes.

Le retrait des fibres végétales sous l'influence des alcalis caustiques est aussi utilisé pour accroître la force et l'élasticité des tissus légers de coton, avant leur gaufrage à chaud.

Quand on imprègne partiellement un tissu de laine avec une lessive de soude caustique ou carbonatée et qu'on le sèche ou le vaporise,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

puis qu'on le lave, les parties ainsi imprégnées apparaissent avec un ton plus sombre lors de la teinture. L'acide sulfurique peut déterminer le même résultat. Ce phénomène permet aisément de faire des tissus en deux tons d'une même couleur, d'obtenir des effets de broché ou de ciselé; il est aussi susceptible de faciliter la production d'étoffes avec le fond d'une couleur et le dessin d'une autre.

M. Aimé Girard avait déjà étudié l'hydratation de la cellulose par les acides forts et décrit, sous le nom d'*hydrocellulose*, le produit de cette hydratation. Des observations récentes ont prouvé que le trempage des fibres de coton dans les acides pouvait développer leur affinité pour certaines matières colorantes.

A l'action des acides sur les fibres végétales se lie l'épaillage chimique, opération ayant pour but de débarrasser la laine et les tissus de laine des matières végétales qui y sont mêlées. L'épaillage chimique a pour point de départ la destruction de la cellulose par les acides. Parmi les nombreux procédés en usage, on peut distinguer trois types principaux: épaillage par les acides dilués (voie humide); épaillage par les acides gazeux (voie sèche); épaillage par les dissolutions salines (décomposition du sel et action de l'acide sec à l'état naissant). Les manipulations successives que nécessite l'épaillage par les acides dilués sont habituellement le dégraissage de la laine, son immersion dans un bain acide, le séchage à l'étuve, le battage, le désacidage et le rinçage. Très énergiques, les acides gazeux exigent beaucoup de ménagements. Pour l'épaillage par les sels, on emploie surtout le chlorhydrate d'alumine et le chlorure de magnésium.

Comme l'indique M. Persoz, le système qui a le plus de succès est celui de l'immersion, du moins pour la laine en mèches. Après avoir lavé la matière, on la plonge dans un bain d'acide sulfurique étendu à 5 degrés Baumé; puis on la fait égoutter et on l'essore, en employant les rouleaux exprimeurs de préférence à l'essorage centrifuge, qui porte les fibres à se feutrer. Ensuite la laine passe dans l'étuve, où se carboniseront les matières végétales; conduite sans précautions, cette opération jaunirait la laine et lui enlèverait son élasticité. Puis viennent l'introduction dans les battoirs-broyeurs, qui pulvérisent les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

matières carbonisées, le désacidage par l'eau, le savon et les cristaux de soude, enfin le rinçage à l'eau.

Les tissus blancs ou teints en nuances très solides s'épaillent également par immersion dans un bain d'acide. Quant aux autres articles, on ne les épaille que par le chlorhydrate d'alumine ou le chlorure de magnésium.

Une application fort intéressante de l'épaillage chimique est celle qui a pour objet d'ouvrir des jours dans les tissus. Le procédé consiste par exemple, soit à imprimer un tissu laine et coton avec une réserve chimique et à le plaquer en chlorure d'aluminium pour lui faire subir l'épaillage chimique, soit à imprimer sur le tissu du chlorure d'aluminium et à le faire passer par l'étuve. On fait de très belles broderies à jour, en brodant sur coton avec de la laine ou de la soie et en épaillant; inversement, on peut obtenir des broderies de coton à jour, en brodant sur un fond de laine et en le détruisant par la soude caustique.

Soumis à l'épaillage chimique, les fils mélangés acquièrent plus de souplesse et de douceur.

Dès 1862, Jules Persoz avait observé l'action dissolvante du chlorure de zinc concentré sur la soie du mûrier et en avait déduit une méthode de dosage pour les tissus mélangés. Ce réactif, moins concentré, est capable de rétrécir et de crêper les tissus de soie.

Le rapporteur s'étend assez longuement sur les beaux travaux de M. Witz (1882) au sujet de l'oxycellulose. Cette substance, développée dans les tissus de coton par le chlorure de chaux et par d'autres agents d'oxydation, décompose les solutions salines métalliques, attire les couleurs basiques, repousse les couleurs de nature acide. La découverte de l'oxycellulose a jeté la lumière sur des faits jusqu'alors inexpliqués; elle a surtout conduit à des observations importantes, en ce qui concerne le blanchiment, montré les précautions que nécessite l'emploi du chlorure de chaux, établi qu'il fallait recourir exclusivement à des solutions limpides, diminuer la force de ces solutions, réduire le nombre des chlorages, éviter le grand air et la lumière trop vive. Ce n'est pas seulement pour le coton que ces précautions doivent être

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

prises; c'est aussi pour les autres fibres végétales, pour le lin, le chanvre, le jute.

Depuis peu de temps, on chlore les tissus de laine destinés à l'impression. Les nuances deviennent ainsi plus unies et plus intenses.

M. Persoz termine la partie de son rapport relative aux fibres textiles en rappelant les travaux entrepris par Chevreul et poursuivis par d'autres savants sur la composition des matières accompagnant la laine brute. Le liquide sudorique du mouton renferme les principes de l'urine des herbivores, ou du moins leurs produits de décomposition, et, à l'état de sels de potasse, presque tous les acides de la série grasse, y compris l'acide caprique; il contient aussi de l'acide malique et de l'acide succinique.

2. Blanchiment. — Lorsqu'un tissu sort de fabrication, il est recouvert ou imprégné d'un grand nombre de matières étrangères, corps gras, matières résineuses, apprêts, etc. Parmi ces matières, les unes s'opposent à la fixation des couleurs; les autres, au contraire, agissent comme mordants et déterminent cette fixation d'une manière irrégulière, de telle sorte que, sans leur enlèvement préalable, il serait impossible de produire des teintures unies ou des impressions correctes. En outre, les fibres textiles, quelle que soit leur origine, contiennent des substances plus ou moins colorées qui leur donnent un ton jaunâtre, fauve, désagréable à l'œil, et dont l'élimination est indispensable, non seulement pour ce motif, mais aussi parce qu'elles peuvent altérer considérablement la pureté et l'éclat des couleurs déposées ensuite sur le tissu. On donne le nom de *blanchiment* à l'ensemble des opérations ayant pour objet de dépouiller les fils ou tissus des matières qui les souillent et de les décolorer. Ces opérations chimiques varient avec la nature des fibres.

L'art du blanchiment remonte à une époque reculée. On le trouve déjà très développé chez les peuples orientaux et égyptiens des premiers temps historiques : les procédés alors en usage reposaient sur l'emploi des alcalis, de l'urine putréfiée, de certaines plantes mucilagineuses, de l'acide sulfureux, de terres argileuses, et sur l'expo-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sition des tissus au soleil. Voyons ce que sont devenus ces procédés pour les divers textiles.

Jusqu'à la fin du siècle dernier, la méthode généralement en usage pour les *fibres végétales* consistait dans l'action alternative de lessives alcalines plus ou moins caustiques et des rayons solaires sur les tissus à blanchir. En s'oxydant sous la triple influence de l'air, de l'humidité et de la lumière, la matière incrustante devenait soluble dans les bains alcalins. Le blanchiment exigeait plusieurs mois et immobilisait de vastes étendues de terrain. Pendant longtemps, la Hollande a joui d'une réputation incontestée pour le blanc des tissus qu'elle soumettait à ce traitement.

C'est à la fin du XVIII^e^ siècle que se place la découverte la plus importante dans l'art du blanchiment. Scheele avait isolé le chlore et constaté son action destructive sur les couleurs végétales. En 1785, Berthollet, reprenant les études de Scheele, reconnut qu'il y aurait avantage à substituer une solution de chlore au gaz lui-même et proposa de blanchir les tissus par des immersions alternatives dans des solutions de chlore ou bains étendus et dans des lessives alcalines; ces opérations successives lui paraissaient préférables à l'immersion unique dans une liqueur chlorée concentrée, susceptible de dégager une odeur intolérable et d'affaiblir les fibres. Berthollet donna d'ailleurs la théorie chimique des effets produits par le chlore. Depuis, le chlore est devenu partout l'agent actif du blanchiment; son emploi a du reste permis l'utilisation de l'acide chlorhydrique obtenu dans la fabrication du sulfate de soude et du carbonate de soude.

La belle découverte de Berthollet constituait une véritable révolution. Watt, qui avait assisté à quelques-unes de ses expériences, en comprit immédiatement la valeur et dota l'Angleterre du blanchiment au chlore, alors que la France se confinait encore dans ses anciens procédés.

Voici quelle est aujourd'hui la méthode le plus souvent pratiquée pour les *tissus de coton*. Tout d'abord les pièces subissent le grillage ou le flambage, dont le but est d'enlever de la surface du tissu les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nœuds, les parties pelucheuses et duveteuses qui la recouvrent. Autrefois on les tondait, primitivement à la main et à l'aide de ciseaux courbes, plus tard au moyen d'une machine dite *tondeuse;* maintenant on les grille, en les faisant passer au-dessus d'une plaque métallique chauffée au rouge, ou on les flambe par la flamme du gaz. M. Persoz décrit, dans son rapport, un cylindre grilleur en fonte à l'intérieur duquel circulent les flammes d'un foyer de houille et que le tissu vient toucher à deux reprises, sur son arête inférieure et sur son arête supérieure. Il fournit également des indications détaillées sur un appareil de flambage, boîte métallique qui reçoit le gaz et l'air comprimé, pour les laisser sortir par une fente étroite correspondant à la largeur de l'étoffe. Lors du flambage, les sels introduits dans l'encollage de la chaîne peuvent altérer plus ou moins profondément les fibres; à ce point de vue, M. Albert Scheurer recommande le chlorure de calcium qui donne à la fécule une bonne consistance gommeuse.

Après cette opération préliminaire vient le trempage : en Angleterre, on abandonne les pièces écrues pendant vingt-quatre heures dans de vastes réservoirs, avec de l'eau chaude; en France, on les mouille au clapot, appareil où elles circulent dans l'eau et passent entre des cylindres qui les compriment fortement, font pénétrer le liquide dans leurs pores et en expulsent les matières étrangères. Diverses variantes de clapot sont décrites par le rapporteur de la classe.

Le trempage est suivi du passage au lait de chaux, destiné à attaquer les matières grasses et à les transformer en savons avec élimination de glycérine. Ce passage a lieu dans une cuve, avec cylindres presseurs, et se fait ordinairement à froid. Pour que la saponification s'effectue, il faut soumettre à une longue ébullition le tissu imprégné de lait de chaux; les appareils employés dans cette phase des opérations sont les uns à haute pression, les autres à air libre ou à basse pression. Chacune de ces deux catégories d'appareils a ses avantages et ses inconvénients : la première facilite la saponification, mais affaiblit quelquefois le tissu; si la seconde n'offre pas les mêmes dangers pour

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la solidité de l'étoffe, elle augmente la durée, le nombre et le prix de revient des manipulations. Quels que soient les appareils, on doit y disposer les tissus de telle sorte que la lessive les traverse de part en part, et ne pas oublier que la chaux attaque énergiquement la cellulose en présence de l'air, surtout à une température élevée.

A la suite du premier passage alcalin, le tissu est lavé à fond, au moyen de clapots ou d'appareils analogues. Ce lavage ou dégorgeage est de la plus haute importance; il se reproduit d'ailleurs après chaque opération.

Les pièces complètement nettoyées sont soumises à un passage en acide, qui décompose les savons calcaires, met les acides gras en liberté, dissout l'excès de chaux, les oxydes métalliques et une partie de la matière colorante. On fait usage de l'acide sulfurique ou plutôt de l'acide chlorhydrique.

Soumis à un nouveau dégorgeage, le tissu doit subir ensuite un deuxième passage alcalin au carbonate de soude : le carbonate dissout les acides gras et forme avec eux des savons solubles. Depuis un certain temps, on substitue au carbonate de soude le savon de colophane, qui a la propriété de détruire les matières résineuses inhérentes à la fibre du coton et fonctionnant comme mordants.

Ce second traitement alcalin, complété par un lavage, clôt la phase du dégraissage.

Le tissu doit se trouver alors dépouillé des matières étrangères qu'il renfermait, à l'exception de la matière colorante. Cette dernière est détruite par le chlore. Jadis on employait une solution aqueuse de chlore; aujourd'hui on se sert d'une solution de chlorure de chaux, qui doit être parfaitement claire, faute de quoi les parties en suspension se fixeraient sur le tissu et y détermineraient des brûlures pendant le passage en acide. Une fois imprégné de cette solution, le tissu est exposé à l'air pour que l'acide carbonique réagisse sur l'hypochlorite de chaux et le décompose, en dégageant de l'acide hypochloreux; puis il est traité par un acide faible, généralement de l'acide chlorhydrique, qui achève cette décomposition et dissout la matière colorante, modifiée par l'action du chlore ou de l'acide hypochloreux.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Enfin tout se termine par un lavage très soigné : s'il restait une quantité même très minime d'acide en contact avec la fibre, cet acide se concentrerait par la dessiccation et déterminerait une altération du tissu.

A ce moment le blanchiment est achevé. Les opérations subséquentes telles que le séchage, soit à l'air libre, soit au tambour à vapeur, après essorage à l'hydro-extracteur ou au squeezer, ne s'y rattachent qu'indirectement.

Telle est, dans ses grandes lignes, la méthode en quelque sorte classique. Il importe de réduire autant que possible le chlorage, toujours plus ou moins dangereux, sinon au point de vue de la solidité des fibres, du moins au point de vue de la teinture ou de l'impression, sauf à accroître le nombre et la durée des lessivages alcalins.

M. Persoz cite un certain nombre d'autres procédés. C'est ainsi que M. H. Kœchlin réalise un blanchiment rapide en passant les pièces à froid dans un bain d'acide sulfurique à 2 degrés Baumé, après quoi elles sont lavées à fond, imprégnées d'une solution de soude caustique et de bisulfite de soude à la température de 70 degrés, traitées dans un grand cylindre horizontal en tôle par une autre solution de soude caustique et de soude avec de la colophane, sous une faible pression, puis soumises au chlorage, passées au clapot dans de l'acide sulfurique très étendu, et finalement rincées. M. Thompson a proposé un système caractérisé par un simple lessivage en bain de soude, par l'exclusion de tout traitement à l'acide sulfurique ou chlorhydrique, et par le rôle important du chlorure de chaux, décomposé au moyen de l'acide carbonique. MM. Leblois, Piceni et C^ie^ appliquent un procédé excluant tout lessivage à chaud, tout traitement acide, et ne comportant qu'un léger lessivage à froid ou même un mouillage à l'eau pure, suivi de la décoloration par un hypochlorite de soude.

Le chlore agissant comme oxydant, on a cherché à le remplacer par l'eau oxygénée. Ce procédé coûteux n'est pas encore entré sérieusement dans la pratique.

Une autre méthode, paraissant appelée à réussir, est celle de M. Hermitte, qui a donné des résultats si satisfaisants pour la pâte

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à papier et qui consiste à faire agir sur les fibres une solution de chlorure de magnésium soumise à l'électrolyse.

Les *écheveaux de coton* sont lavés à l'eau bouillante, passés en chlorure de chaux et en acide, et rincés, quand on ne veut arriver qu'au blanc ordinaire. Pour le blanc fin, les opérations comprennent un lessivage au sel de soude, un lavage, un passage en chlorure et un passage en acide, répétés une ou deux fois; elles se terminent par un lavage et un azurage.

Bien que le *chanvre* et le *lin* se rapprochent du coton par la composition de leurs fibres, ils présentent cependant un caractère spécial méritant d'être signalé. Je veux parler de la très forte proportion de matières résineuses, gommeuses et colorantes, mêlées à la cellulose. Le lin peut perdre ainsi jusqu'à 30 p. 100 de son poids, pendant le blanchiment, alors que la perte du coton ne dépasse pas 5 p. 100. Cette abondance de matières étrangères conduit souvent à opérer le blanchiment sur le fil de préférence au tissu, parce que leur disparition laisse dans l'étoffe des vides préjudiciables à sa résistance.

Le blanchiment des *fils de lin et de chanvre* peut se faire à deux degrés. Pour le premier, dit *crémage*, on pratique un lessivage au sel de soude, un lavage, un passage en chlorure de chaux, un passage en acide et un lavage. Arrêté à ce point, le blanchiment laisse aux fibres plus de poids et de résistance; les fibrilles qui les composent restent collées les unes aux autres, mais la nuance jaunâtre demeure très prononcée. Souvent on accuse cette nuance du fil crémé et on la rend plus franche par une immersion dans de l'eau tenant en suspension de l'ocre pulvérisée; la coloration factice obtenue par ce moyen cède à des lavages prolongés.

Quant au second degré de blanchiment, il est constitué par des lessivages et des passages en chlore.

Pour les tissus, il est avant tout indispensable de faire disparaître l'apprêt ou parou : en général on se sert d'une décoction d'orge germée qui, à 35 degrés, transforme les matières amylacées en dextrine soluble dans l'eau. Ensuite viennent une série d'opérations multiples, dont

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

le nombre tend toutefois à décroître et qui comprennent, par exemple, un trempage, un lavage, une exposition sur pré, un lessivage à l'eau de chaux bouillante, un lavage, un passage en acide sulfurique, un lessivage au sel de soude, deux lavages suivis chacun d'une exposition sur pré, un nouveau lessivage au sel de soude, un passage en chlorure de chaux, un passage en acide sulfurique et un dégorgeage.

M. Persoz signale pour le *jute* un procédé anglais, qui supprime les traitements alcalins énergiques et leur substitue l'action de corps réducteurs; le chlorure de chaux est remplacé par un chlorure de soude, et les opérations s'achèvent par une immersion en sulfite de soude.

La matière incrustante du jute peut absorber des quantités considérables de chlore. M. Albert Scheurer conseille de diminuer la force de l'hypochlorite, au fur et à mesure que les opérations se succèdent.

Comme le blanchiment des fibres végétales, celui des *fibres animales* se divise en dégraissage et en décoloration. Pour le dégraissage, il ne peut plus être question d'alcalis caustiques et de chaux, qui altéreraient les fibres : on emploie des bains de savon ou de cristaux de soude, fréquemment répétés et à des températures peu élevées. Pour la décoloration, on recourt à des agents chimiques autres que le chlore, notamment à l'acide sulfureux.

La *laine*, telle qu'elle est prise sur le dos du mouton, s'appelle *laine surge* ou *laine en suint* et contient, outre l'argile, le sable et les débris de toute nature qui la souillent, une matière colorante fauve, ainsi qu'une substance grasse, produit de l'exsudation du mouton, plus ou moins modifié par les agents extérieurs. On sait que le suint peut atteindre jusqu'à 55 p. 100 du poids de la laine.

Presque toutes les matières composant le suint sont solubles dans l'eau. Aussi commence-t-on toujours par un lavage à l'eau pure. Cette opération préliminaire s'effectue souvent sur le dos même de l'animal : les laines ainsi préparées prennent la dénomination de *laines lavées à dos;* elles perdent dans ce traitement de 20 à 30 p. 100 de leur poids. Quand le lavage a lieu sur la laine en toison, on opère dans

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des cuves, de telle façon que le suint s'y accumule peu à peu, fournissant à l'eau des savons et des corps gras qui facilitent le dégraissage.

La laine désuintée renferme encore 15 à 20 p. 100 de matières grasses. On les enlève par divers procédés, comme un passage dans de l'eau tiède additionnée de savon vert ou de soude caustique. Une fois le dégraissage terminé, la laine reçoit un lavage complet.

Ensuite on procède à la décoloration par l'acide sulfureux gazeux, dans des chambres ou soufroirs susceptibles d'une fermeture hermétique; il est essentiel d'étendre au-dessous des laines une toile grossière destinée à tamiser le gaz qui, sans cette précaution, jetterait sur elle des impuretés entraînées par les vapeurs.

Quand le blanchiment est terminé, les laines sont desséchées soit à l'hydro-extracteur, soit au moyen d'une machine analogue aux squeezers, soit à l'air libre dans des étendages.

Les *fils et tissus de laine* subissent des opérations analogues. En général, le blanchiment des tissus donne de meilleurs résultats que celui des laines en toison. Du reste, il y a lieu de remarquer que, si la laine doit toujours être soumise à divers traitements avant la filature et le tissage, l'ensimage nécessaire à la filature n'en exige pas moins dans tous les cas un blanchiment soigné des tissus.

Le blanchiment s'applique non seulement aux articles qui doivent rester tout à fait blancs, mais encore à ceux qui doivent être imprimés, c'est-à-dire recevoir des dessins variés de forme et de couleur, et dans lesquels des effets blancs seront ménagés. Pour la première catégorie d'articles, le blanchiment est exceptionnellement soigné et porte le nom de *blanc de vente;* pour la seconde, on réalise le *blanc d'impression.*

Avant le dégraissage des étoffes, il faut enlever le duvet qui masque le grain du tissu, soit à l'aide de la tondeuse, s'il s'agit de blanc de vente, soit à l'aide de la flamme du gaz, s'il s'agit de blancs ordinaires. La pièce se dégraisse en passant successivement dans des bains de carbonate de soude et de savon, à une température de 25 à 40 degrés, puis dans un bain de rinçage à l'eau pure. Après le dégrais-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sage, on opère le blanchiment à l'acide sulfureux gazeux. Les tissus blanchis sont fortement rinçés et azurés avec des couleurs dérivées de l'aniline, opération délicate à cause des inégalités que peut offrir la teinte sur les diverses parties de la pièce.

M. Persoz recommande très fermement la décoloration à l'eau oxygénée, qui a le mérite de détruire la couleur jaune des laines, tandis que l'acide sulfureux masque simplement cette couleur et la laisse reparaître, si les fibres subissent plus tard un traitement énergique à l'eau bouillante, aux alcalis ou aux acides forts.

La *soie* grège est toujours souillée par diverses matières étrangères, des matières grasses et résineuses, une matière colorante, enfin une sorte de cire analogue à la cire d'abeilles. Il existe une assez grande variété de méthodes, suivant la nature et la destination des fibres. En voici quelques-unes, à titre d'exemples.

Pour les soies de première qualité, destinées aux tissus riches, ou soies cuites, on procède successivement au dégommage ou décreusage, à la cuite et à la décoloration, quand la matière n'est pas blanche à l'état brut et doit être teinte en nuances claires ou employée blanche. Le décreusage s'effectue à l'aide d'une dissolution de savon, vers la température de 90 ou 95 degrés; ensuite vient la cuite par ébullition dans une dissolution de même nature. Ces opérations font perdre à la soie environ 25 p. 100 de son poids; elles ne sauraient être prolongées trop longtemps sans enlever aux fibres une partie de leur substance. Après le décreusage et la cuite, on lave les soies à l'eau courante, on leur donne un léger passage en acide sulfurique très faible, et on leur fait subir deux dégorgeages, l'un à l'eau chaude, l'autre à l'eau froide. La décoloration est produite par le gaz acide sulfureux.

Le traitement des soies souples, de seconde qualité, comprend un passage en eau régale, un lavage à grande eau, un soufrage, un passage en savon faible et des passages à l'eau bouillante; il ne fait perdre que 18 à 20 p. 100 de poids.

Pour les tissus ordinaires, teints en couleur foncée, on se borne

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

quelquefois à une demi-cuite, c'est-à-dire à un passage à 100 degrés dans un bain de soude, suivi d'un simple lavage.

Dès avant l'Exposition de 1878, un fait capital s'était réalisé : la découverte d'un moyen pratique pour décolorer les soies sauvages ou soies tussah, qui nous arrivent du nord de la Chine et du Bengale. La grège tussah se présente sous forme d'écheveaux ayant une teinte plus ou moins brune. A l'origine, elle était utilisée avec sa couleur naturelle dans la confection de tissus mixtes imitant l'écru. Après une longue suite de recherches remontant à 1849, M. Tessié du Motay a trouvé en 1875 la décoloration au bioxyde de barium : on laisse la soie pendant une heure dans le bain de bioxyde chauffé à 80 degrés, on la lave, on la passe dans un bain aiguisé d'acide chlorhydrique et on la rince. C'est l'oxygène abandonné par le bioxyde de barium qui détruit la coloration.

Toutefois le bioxyde de barium avait l'inconvénient de durcir la fibre et d'altérer sa solidité. Un progrès sérieux a consisté dans l'emploi de l'eau oxygénée, en présence des alcalis, et particulièrement de l'ammoniaque. Cette eau s'obtient par la décomposition du bioxyde au moyen de l'acide carbonique ou plutôt de l'acide fluorhydrique. L'addition de magnésie ou de silicate de soude aux bains de blanchiment (au lieu de soude caustique ou d'ammoniaque) réduit la dépense d'eau oxygénée.

3. Teinture et impression. — La teinture et l'impression se touchent de très près. Elles ont l'une et l'autre pour but de colorer les fibres textiles; elles mettent en œuvre les mêmes matières premières; elles peuvent du reste se combiner et se prêter un mutuel concours. Mais tandis que dans la teinture on réalise ordinairement des nuances unies, l'impression produit au contraire des dessins coloriés. La teinture s'applique aux fibres brutes, aux filés, aux tissus; l'impression, exigeant une surface quelque peu étendue, ne concerne que les tissus.

Si loin que l'on remonte dans l'antiquité, on trouve déjà en usage l'art de colorer les fibres textiles et les tissus. D'après Hérodote,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Strabon et Pline, les Indiens et les Égyptiens savaient teindre et imprimer leurs étoffes. Parlant de l'Égypte, Pline s'étonnait d'effets certainement obtenus par des mordants qui étaient préalablement fixés sur le tissu et qui prenaient différentes teintes en s'unissant à la matière colorante. Les habitants des bords de la mer Caspienne dessinaient sur leurs vêtements des images d'animaux et se servaient à cet effet de couleurs assez solides pour durer autant que l'étoffe elle-même. Foncièrement industrieux et commerçants, les Phéniciens déployaient une profonde habileté dans la teinture, et la pourpre de Tyr, extraite d'une espèce particulière de mollusques gastéropodes, étendit sa renommée dans toutes les parties du monde. Outre la pourpre, les anciens connaissaient beaucoup d'autres couleurs, notamment l'indigo : les Indiens faisaient intervenir l'indigo comme couleur d'enluminage.

Toutefois il semble que les peuples de l'antiquité n'aient pas connu l'impression proprement dite et qu'ils se soient bornés à peindre les étoffes blanches avec divers excipients, puis à les tremper dans un bain de teinture. L'impression est apparue en France, en Angleterre, en Suisse, en Hollande, vers le milieu du siècle dernier. Pendant longtemps la France resta tributaire des pays voisins, de la Suisse, de l'Angleterre, des Pays-Bas; le Gouvernement, effrayé de la concurrence faite par les toiles peintes étrangères aux autres tissus fabriqués à Reims, à Amiens, à Rouen, à Lyon, alla jusqu'à en prohiber l'usage sous les peines les plus rigoureuses. A cette époque, la France n'imprimait que des étoffes coloriées pour la tapisserie et n'employait que des couleurs à l'huile ou à l'eau, incapables de résister au lavage. En 1759, la prohibition fit place à un système de droits protecteurs et des encouragements furent accordés à l'industrie nationale des toiles imprimées. Notre première fabrique d'indiennes fut fondée à l'Arsenal, sous les auspices du Gouvernement, par un Anglais du nom de Cabanes; elle ne donna pas de merveilleux résultats. Un peu plus tard, Oberkampf créa la manufacture de Jouy près de Versailles, et bientôt des établissements analogues s'élevèrent en Normandie, à Bolbec, à Rouen, à Maromme. Dès les premières

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

années du XIX^e^ siècle, Mulhouse et le Haut-Rhin entrèrent en lice et marchèrent à grands pas vers la prééminence qu'allaient leur assurer les travaux des Haussmann, des Kœchlin, des Dollfus, des Hartmann, des Schlumberger, des Schwartz, etc. C'était pour la France l'émancipation vis-à-vis de la Suisse, de la Hollande, ainsi que de l'Angleterre, où l'industrie de l'impression avait pris un développement considérable, dans le Lancashire, à partir de 1766.

Si notre pays a pu occuper un rang élevé dans l'art de la teinture et de l'impression, le mérite en revient non seulement à nos industriels, mais aussi à une pléiade d'illustres chimistes, à la tête desquels se placent Berthollet, Chaptal et Chevreul.

Après ces courtes indications historiques, rappelons brièvement les principes généraux de la fixation des couleurs.

La teinture proprement dite n'a pas pour but unique de colorer les fils et les tissus; elle doit fixer la couleur. Cette fixation ne peut d'ailleurs être simplement superficielle, comme le serait celle d'une couleur disposée sur une surface imperméable. Il faut que la matière colorante imprègne le corps de la fibre et s'y fixe ensuite, soit mécaniquement, soit par affinité chimique. On ne saurait considérer comme une teinture l'application des couleurs insolubles au moyen d'un vernis siccatif ou de l'albumine, quelle que soit d'ailleurs l'importance de ce procédé pour l'industrie des toiles peintes.

Quand on veut fixer une couleur autrement que par application, il faut avant tout l'amener à l'état de solution : c'est une condition *sine qua non* pour qu'elle pénètre dans la profondeur de la fibre et se répande uniformément à la surface.

Si la matière colorante est insoluble par elle-même, on la dissout au moyen d'un dissolvant physique ou chimique comme l'alcool, l'esprit de bois, les alcalis, les acides, certains sels; parfois on ramène la substance par des réducteurs à l'état de matière susceptible de se dissoudre dans l'un ou l'autre de ces dissolvants. Cela fait, on imprègne la fibre. Tantôt le corps insoluble est faiblement retenu par le dissolvant et cède à l'attraction plus puissante de la fibre, s'y pré-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cipite, s'y incorpore, s'y emprisonne en quelque sorte. Tantôt l'affinité du dissolvant l'emporte sur celle de la fibre et il devient nécessaire d'opérer le déplacement du composé insoluble par un artifice convenable, de le précipiter de telle sorte qu'il s'incorpore à la fibre et y soit ensuite retenu mécaniquement. Une fois précipitées, soit par attraction de porosité, soit par réaction chimique, les couleurs insolubles sont retenues dans la fibre et empêchées d'en sortir, pour la raison même qui s'opposait à leur pénétration sous forme solide.

Les fibres animales, laine et soie, ont la propriété remarquable de précipiter et de retenir énergiquement beaucoup de matières solubles, telles que l'acide sulfindigotique, les dérivés de l'aniline, l'acide picrique, l'éosine, etc. Il se forme là une véritable combinaison chimique plus ou moins stable. C'est la forme la plus simple de la teinture, puisqu'elle ne fait intervenir que deux éléments, la fibre et la matière colorante.

Dans le cas d'affinité faible ou nulle de la matière colorante pour la fibre, on imprègne celle-ci d'une substance insoluble, faisant corps avec elle et jouissant de la propriété de se combiner avec la matière colorante : cette substance intermédiaire, dont la destination est de modifier l'inertie de la fibre, reçoit le nom de *mordant*. La fibre mordancée agit alors comme agiraient la laine et la soie sur les couleurs d'aniline.

Les résultats tinctoriaux varient dans des limites très étendues sous l'influence de conditions physiques ou chimiques très multiples. Pour les traduire, Chevreul a établi une nomenclature basée sur la couleur (rouge, orange, jaune, vert, bleu, violet-rouge, formant 72 types), sur le ton ou le degré d'intensité (couleur pâle, tendre, faible, délicate ou vive, vigoureuse, sombre, formant 21 tons), sur le degré de pureté ou de mélange au gris et au noir (couleur franche, fraîche, fine, pure ou éteinte, terne, rabattue, brune, formant 10 degrés). L'illustre savant distinguait ainsi 14,420 nuances, représentées par des cercles chromatiques.

Dans l'impression, les couleurs sont fixées aux tissus, tantôt par

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

une véritable teinture, tantôt encore par d'autres procédés. A ce point de vue, on les a souvent divisées en trois catégories : 1° couleurs de teinture; 2° couleurs-vapeur; 3° couleurs d'application. M. Paul Schützenberger a proposé une autre classification des méthodes de coloration et distingué la fixation mécanique des couleurs insolubles, la combinaison de la matière colorante aux fibres, l'incorporation de la couleur aux fibres sans combinaison chimique. De courtes indications suffiront pour mettre en lumière le lien entre ces deux classifications.

Pour la fixation mécanique des couleurs insolubles, on applique la matière colorante en poudre impalpable et on la fixe par l'intermédiaire d'un corps qui devient solide et généralement insoluble en présence de la fibre, comme l'albumine, le gluten, la caséine, la gomme-laque. Ces substances jouent le rôle de fixateurs plastiques. Il y a là un procédé rappelant par ses effets la peinture à l'huile et fort développé aujourd'hui; les premiers essais d'impression de cette nature ont été faits en 1820 par M. Blondin, à la Glacière, avec de l'outremer naturel.

La combinaison de la couleur avec la fibre s'obtient de deux manières. On peut opérer par immersion dans un bain de matière colorante, après avoir imprimé préalablement une préparation qui s'oppose à la teinture (réserve), ou sauf à détruire la couleur par places, en appliquant après teinture une préparation appropriée (enlevage). On peut aussi imprimer la matière colorante en dissolution épaisse et déterminer la teinture par l'exposition du tissu à une chaleur humide, généralement à l'action de la vapeur d'eau; ce genre comprend une partie des couleurs-vapeur sur laine et soie.

Quant à l'incorporation sans combinaison chimique, elle se réalise par des moyens très divers : fixation, par attraction de surface, de la couleur au moment où elle se sépare d'un dissolvant; précipitation, par attraction de porosité, de la couleur faiblement unie à un dissolvant; fixation par l'attraction chimique que les fibres mordancées exercent sur la matière colorante en solution; fixation par une action oxydante qui précipite la couleur et développe en même temps la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nuance; application de la couleur dissoute et volatilisation par l'exposition à l'air ou par le vaporisage; formation de la couleur sur la fibre par double échange entre deux sels, un sel et un hydrate d'oxyde ou un carbonate alcalin; application des éléments constituants d'une couleur en solution chimique et dans un état tel que, sous l'influence de la chaleur humide (vaporisage, une grande partie des couleurs-vapeur) ou du temps (un grand nombre de couleurs dites *d'application*), ils se réunissent pour former la couleur insoluble qui deviendra en même temps adhérente.

Les explications sommaires qui précèdent montrent les combinaisons susceptibles d'être établies entre la teinture au bain et l'impression. Je dois y insister un peu.

Ces combinaisons si intéressantes consistent, soit à imprimer avant teinture des réserves qui s'opposeront à la fixation de la couleur, soit à imprimer de même avant teinture des dessins formés par une matière qui modifiera la nuance déposée par le bain, qui la convertira, soit à imprimer sur le fond teint des rongeants qui détruiront la couleur du fond, soit encore à imprimer après teinture des couleurs qui modifieront la teinte par superposition ou par conversion.

Les *réserves* agissent, tantôt en repoussant pour ainsi dire la couleur (réserves mécaniques), tantôt en précipitant la matière colorante avant son contact avec la fibre textile, en détruisant cette matière ou en l'altérant (réserves chimiques), tantôt en l'absorbant et empêchant son action sur la fibre (réserves physiques). Il y a les blancs réserves, laissant apparaître la couleur propre du tissu, et les couleurs réserves, donnant après teinture une nuance déterminée.

On distingue, parmi les *enlevages*, les blancs enlevages et les couleurs enlevages.

Aux *conversions* chimiques se rattachent les conversions mécaniques, faisant par exemple apparaître des dessins fond sur fond, comme dans le genre *frappé*, ou provoquant des inégalités de réflexion de lumière, comme dans le genre *moiré*.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les couleurs-vapeur, que j'ai déjà citées, offrent de précieuses ressources à l'impression. Elles se développent par une action plus ou moins prolongée de la vapeur d'eau. C'est un genre qui permet, grâce aux machines à plusieurs couleurs, d'imprimer à la fois et de fixer simultanément, par une seule opération, toutes les nuances d'un dessin. Il comprend les couleurs insolubles fixées à l'albumine; de nombreuses préparations renfermant les matières colorantes nouvelles, dérivées de l'aniline et de ses homologues; les anciennes couleurs-vapeur, dans lesquelles entrent d'une part les matières colorantes naturelles, pouvant se fixer par le concours de mordants minéraux et employées sous forme d'extraits ou de décoctions, d'autre part une préparation métallique, susceptible de fournir à la matière colorante l'élément basique qui lui est nécessaire pour former une laque. Dans ce dernier cas, la vapeur détermine la précipitation de la laque.

M. Chevreul a étudié le rôle fixateur de la vapeur d'eau et prouvé qu'elle n'agit pas seulement à titre de moyen calorique, puisqu'on ne peut la remplacer par la chaleur sèche.

Il convient d'éviter l'emploi simultané de couleurs dégageant, au vaporisage, des vapeurs acides ou alcalines qui nuiraient à l'une ou à l'autre d'entre elles.

Parmi les matières premières utilisées en impression, les *épaississants* jouent un rôle important. Leur but essentiel est de donner du liant et de la viscosité à la couleur. On se sert à cet effet de l'amidon, de la fécule, de la farine, de diverses variétés d'amidon désagrégé et rendu soluble (amidon grillé, dextrine, etc.), des gommes (gomme du Sénégal, gomme arabique, gomme adragante, etc.), de certains épaississants d'origine animale, tels que l'albumine, la caséine, le gluten, enfin de produits minéraux insolubles introduits dans quelques couleurs pour leur donner du corps (kaolin, terre de pipe).

L'albumine, la caséine, le gluten, la gélatine, n'ont pas pour unique objet de communiquer au liquide la viscosité voulue; ils ser-

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vent de fixateurs plastiques pour les couleurs insolubles ou de mordants pour certaines matières colorantes. C'est l'albumine qui constitue l'épaississant d'origine animale le plus répandu. Les principales couleurs appliquées au moyen de fixateurs plastiques sont l'outremer, le vert Guignet, le vert de Schweinfurt, le blanc de zinc, le gris de charbon, les jaunes et oranges de chrome, l'oxyde ferrique, le vermillon, le carmin de cochenille.

Nous avons vu précédemment qu'un certain nombre de matières colorantes ne pouvaient se fixer sans l'intermédiaire de corps étrangers ou *mordants*, avec lesquels elles s'unissent pour former une laque. Les mordants le plus souvent employés sont des oxydes métalliques hydratés, et spécialement les hydrates d'oxyde d'aluminium, de fericum, de chrome, d'étain. Dans certains cas, le mordant est incorporé aux fibres avant la teinture; dans d'autres, on imprime une préparation contenant à la fois la matière colorante et le mordant, puis on détermine par la vapeur d'eau la fixation du mordant et sa teinture sur place.

Le cadre restreint de ce rapport ne me permet ni de revenir sur les matières colorantes, qui ont déjà fait l'objet d'un court aperçu au chapitre précédent, ni de passer en revue le mode d'emploi de chacune d'elles.

Du matériel, je ne veux dire ici que quelques mots, attendu que la classification le rangeait dans un autre groupe (groupe VI, classe 58).

La teinture de la laine et du coton peut se donner sur la fibre brute simplement nettoyée, sur le filé ou sur le tissu ouvré; celle de la soie, du lin et du chanvre ne se donne que sur le filé ou le tissu. A peine est-il nécessaire de faire remarquer que le matériel doit varier selon que le teinturier opère sur la matière brute, sur le filé ou sur le tissu ouvré, et qu'il se modifie aussi dans une certaine mesure avec la nature de la fibre.

En tout cas, la substance est nécessairement immergée dans des solutions, qui exigent l'emploi de récipients, terrines, baquets, cuves,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cuviers, tonneaux, barques, chaudières, etc. Quand l'immersion n'a point lieu à froid, le chauffage est généralement assuré par de la vapeur : suivant les circonstances, celle-ci arrive directement dans le bain, ou y circule enfermée dans un serpentin, ou bien encore pénètre dans une double enveloppe.

Pour les matières filamenteuses non filées, on remue et on retourne la fibre à l'aide de crochets. S'il s'agit d'écheveaux, on peut soit tremper, fouler et tordre à la main, soit recourir aux machines à passer ou à dégorger, qui effectuent par exemple au moyen de cylindres des manipulations analogues à celles du travail manuel. Les tissus demandent souvent à être tendus pendant leur passage dans le bain; même alors que cette disposition est inutile, les appareils diffèrent de ceux qui sont en usage pour les flocons ou les filés : on se sert notamment de cuves à roulettes, où l'étoffe est entraînée par une série de roulettes en bois et sort entre des rouleaux exprimeurs, après avoir parcouru plusieurs fois le bain dans le sens vertical ou dans le sens horizontal. L'avivage et certaines teintures s'effectuent dans des chaudières closes d'avivage.

Après la teinture, viennent le lavage et le dégorgeage, faits à l'aide de clapots, de roues à laver, ou d'autres machines dites *laveuses* et *dégorgeuses*.

Les séchoirs occupent une place importante dans le matériel de la teinture. Tantôt ils sont simplement aérés à la température ordinaire; tantôt ils fonctionnent à chaud. Parfois on aide à la dessiccation par des châssis ou branloires. Souvent aussi les pièces sont desséchées instantanément par le passage sur des tambours que chauffe de la vapeur.

Le matériel d'une fabrique d'impressions comprend un laboratoire d'essai; des appareils de blanchiment, de grillage et de flambage; des ateliers de gravure, avec des magasins pour les planches et rouleaux; des ateliers de teinture, de bousage, de savonnage, de lavage, de dégorgeage; des ateliers d'impression à la planche, au rouleau, à la perrotine; des séchoirs; des étendages à froid et à chaud; des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

chambres d'oxydation; des salles pour vaporiser, chlorer, apprêter; des ateliers de dessin; etc.

Pour l'impression à la planche, le dessin est en relief sur bois ou sur métal. L'ouvrier étale la couleur sur un tissu spongieux et y applique la planche. Autrefois on employait beaucoup la perrotine, machine permettant d'imprimer d'une manière continue à la planche plate en relief.

La plupart des toiles peintes se fabriquent au rouleau, gravé en creux. Pour prendre la couleur, le rouleau plonge à demi dans une auge, ou frotte contre un autre rouleau auxiliaire; une racle enlève la matière colorante en dehors des creux. En juxtaposant une série de rouleaux, il est facile d'imprimer simultanément les dessins à plusieurs couleurs.

Jadis la production des couleurs-vapeur comportait l'usage d'une *colonne*, percée de trous, autour de laquelle s'enroulait le tissu : introduite à l'intérieur du cylindre, la vapeur sortait par les orifices et traversait le tissu. Aujourd'hui le vaporisage s'effectue avec des appareils divers, tantôt à haute pression, tantôt à moyenne pression, tantôt à basse pression; ces appareils consistent en tambours ou armoires, où les tissus sont soumis à l'action de la vapeur avec les précautions voulues.

Ces notions nous suffiront pour suivre les progrès et les faits signalés dans le rapport de M. J. Persoz.

En ce qui concerne l'*impression sur coton*, le rapporteur mentionne l'apparition de divers produits nouveaux : le *british gum*, fabriqué en Angleterre et vendu à l'état de poudre brune; l'amidon soluble, obtenu en traitant l'amidon ou la fécule par l'acide sulfureux sous pression et à haute température; la gomme universelle, dextrine translucide préparée en faisant réagir un acide fixe sur l'amidon; l'apparitine, qui résulte du traitement de l'amidon ou de la fécule par la soude caustique, puis de la saturation par un acide, et qui, bien que destinée surtout à l'apprêt des étoffes, convient dans une certaine mesure à l'épaississage des couleurs. M. Jules Meyer est parvenu à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

corriger le défaut de stabilité des solutions de gomme, de dextrine, de gommeline, de british gum, par la cuisson de ces substances sous pression, en présence de la chaux caustique; il a également réussi à bien dissoudre les gommes de l'Inde, en les chauffant sous la pression d'une atmosphère. M. Persoz cite encore l'algine, extraite des algues rouges ou laminaires de nos rivages.

Le tamisage a été perfectionné par des moyens mécaniques, consistant soit à verser la couleur dans une trémie avec tamis métallique et à l'aspirer au moyen du vide, soit à effectuer mécaniquement les opérations mêmes qui se faisaient autrefois à la main.

Depuis 1878, le nombre des mordants s'est considérablement accru. On emploie beaucoup l'acétate d'alumine (surtout pour les couleurs-vapeur), l'alun saturé par du carbonate de soude, le mélange d'acétate et de chlorure d'aluminium (pour le rouge alizarine vapeur), le chlorate d'alumine (pour le rouge enlevage sur bleu cuvé), le sulfocyanate d'aluminium (pour le rouge alizarine réserve sous fond noir d'aniline). Le ferricyanure de potassium est souvent utilisé pour la fixation des couleurs-vapeur. Par suite de la dépréciation du nickel, on a pu essayer les sels que forme ce métal. Les mordants de chrome ont pris une grande importance; ceux d'étain continuent à être utilisés. M. H. Kœchlin a démontré l'appropriation de plusieurs mordants métalliques composés à la fixation des matières colorantes artificielles. Les sels d'antimoine, et en particulier l'émétique, servent maintenant à fixer ces couleurs.

Le nombre des couleurs métalliques formées sur le tissu est très restreint, et les méthodes se sont peu modifiées à cet égard. Toutefois le rapporteur cite des procédés récemment imaginés pour la fixation de l'oxyde de fer sur tissu de coton, par macération dans une liqueur alcaline, et pour celle de l'oxyde de chrome en solution alcaline, par un contact de courte durée.

Ces dernières années ont vu décroître sensiblement la teinture sur mordants métalliques, en ce qui concerne les articles imprimés; mais il n'en est pas de même pour les fonds couverts et surtout pour les unis. Dans l'impression, elle est limitée à l'alizarine, ton rouge

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ou violet, à la garancine, au campêche et à quelques matières colorantes spéciales. De grands progrès ont été réalisés, pour la teinture en rouge turc ou rouge d'Andrinople; l'opération, qui exigeait six semaines, ne demande plus qu'un petit nombre d'heures et s'est vulgarisée.

Les astringents, dont l'usage remonte à une époque éloignée, du moins comme matières colorantes et comme agents propres à rendre plus stables les mordants métalliques sur coton, sont utilement appliqués à la fixation de nombreuses couleurs artificielles, à l'égard desquelles ils jouent le rôle de véritables mordants. Toutefois le tanin ne s'emploie pas seul; habituellement on le fait entrer dans une combinaison métallique.

Des efforts considérables ont permis d'accroître le champ d'action des couleurs-vapeur, d'y comprendre diverses couleurs nouvelles de nature minérale, d'augmenter le nombre des couleurs produites par les principes organiques fixés à l'aide de mordants métalliques; la prépondérance appartient encore aux couleurs-vapeur fixées par le tanin : cette catégorie embrasse la plus grande partie des couleurs d'aniline.

Les couleurs à l'albumine ne servent plus guère que pour les enlevages colorés sur fond bleu de cuve.

Malgré la découverte de l'indigotine artificielle, l'indigo se maintient dans la teinture et l'impression. On a beaucoup perfectionné les moyens d'appliquer cette couleur; le système de montage des cuves à l'aide du zinc en poudre et de la chaux s'est répandu. Tandis que le genre réserve sous bleu de cuve était abandonné, le genre enlevage a pris de l'extension. Les enlevages en couleurs diverses sur fond bleu d'indigo s'effectuent par une méthode basée sur deux réactions simultanées : destruction de l'indigo par des chromates sous l'influence d'acides énergiques, coagulation de l'albumine et fixation de cette substance par les mêmes acides. D'immenses progrès peuvent être constatés dans l'emploi de l'indigo en impression.

Les méthodes d'impression en noir d'aniline ont également progressé; M. Persoz signale particulièrement l'article fond noir avec

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

réserves colorées. Au contraire la teinture en ce noir reste à peu près au même point.

Une couleur d'oxydation découverte depuis 1878 est la canarine ou jaune de persulfocyanogène. J'ai déjà cité les couleurs diazoïques, qui malheureusement pèchent au point de vue de la résistance à la lumière.

Quoique le matériel se soit sensiblement perfectionné, je me borne à mentionner ici le nickelage des rouleaux, dont la surface devient ainsi plus unie et plus dure, et qui résistent mieux à l'usure ainsi qu'aux acides; l'adoption d'une grande cuve à vaporiser, dans laquelle le tissu entre d'une manière continue, pour en sortir de même; l'emploi par tous les indienneurs d'une petite cuve à vaporisation continue; l'utilisation d'une cuve spéciale à roulettes, pour le savonnage au large des tissus imprimés et vaporisés.

Passant ensuite à l'*impression sur laine et sur soie*, le rapporteur constate que cette branche de fabrication a largement profité des nouvelles matières colorantes. On a presque exclusivement recours aux couleurs-vapeur. L'usage s'est répandu de chlorer les tissus de laine, ce qui exalte leur aptitude à prendre la couleur; un traitement à l'acide sulfureux est nécessaire pour annihiler les effets de l'excédent de chlore et pour empêcher la laine de jaunir au vaporisage.

M. C. Kœchlin a trouvé le moyen de remédier à un accident assez fréquent : l'apparition, sur les tissus de laine imprimés et soumis au vaporisage, de taches brunâtres dues à des traces de cuivre. Ces taches s'enlèvent au pinceau, à l'aide de l'eau oxygénée.

Les mordants d'alumine, de fer et de chrome continuent à servir pour la fixation d'un grand nombre de couleurs. Parmi ces couleurs, celles qui sont teintes sur mordant de chrome se recommandent par leur solidité. Les couleurs au tanin s'emploient beaucoup dans la teinture des unis; de nombreux sels métalliques peuvent d'ailleurs être appliqués à la fixation du tanin. Après avoir fixé des matières colorantes acides (telles que les alizarines), les tannates d'alumine

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et de fer attirent encore les couleurs basiques d'aniline et permettent ainsi des virages faciles.

Si les couleurs diazoïques manquent de solidité à la lumière, elles ont en revanche le mérite de teindre également, sans mordants, toutes les fibres végétales et animales et, une fois fixées, de jouer elles-mêmes le rôle de mordants pour un nombre considérable de couleurs d'aniline. La teinture à l'aide de ces matières s'accomplit toujours en présence d'alcalis, de savon, de sels alcalins ou au moins de sels à base alcaline.

La *teinture des fils de coton* a bénéficié des progrès réalisés par les indienneurs.

Malgré l'énorme variété des matières colorantes dont disposent les industriels, les couleurs instables sont encore trop souvent employées par raison d'économie. Une couleur nouvelle fort curieuse est le jaune dit *primuline* ou *polychromine*, qui, fixé sur le coton, puis soumis à l'acide azoteux, peut être viré à l'orange, au rouge, au marron, au brun, au violet, par l'immersion dans différents phénols rendus alcalins ou dans des chlorhydrates acides de bases aromatiques.

M. Persoz relate, à titre d'innovations intéressantes, la teinture directe des chaînes ourdies sur ensouples de tissage et la teinture sur canettes, en quelques nuances, notamment en noir d'aniline.

Des perfectionnements ont été apportés aux machines à laver. L'exposition du Champ de Mars comprenait d'excellents appareils pour effectuer mécaniquement la teinture des écheveaux. Un autre appareil très utile est le séchoir continu.

Dans la *teinture des tissus de laine*, les matières colorantes artificielles ont peu à peu éliminé les couleurs anciennes. En dehors des draps d'officiers, on ne rencontre plus guère de ponceaux à la cochenille; les bleus de France ont disparu. Seuls, les procédés de noirs se sont maintenus, par suite du prix élevé qu'atteignent la production du noir d'aniline et les teintures au noir d'alizarine ou au noir de naphtol.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Autrefois localisée, la teinture des tissus de laine s'est étendue, grâce à la facilité d'emploi des produits tinctoriaux en l'état où ils sont aujourd'hui livrés par les fabricants.

Depuis 1878, la teinture des laines a trouvé de précieuses ressources dans les produits acides sulfoconjugués, obtenus à l'aide de diverses matières colorantes de nature basique.

Il y a lieu de signaler encore des changements heureux apportés aux opérations de dégorgeage.

La *teinture des laines en botte* commence à tirer grand parti des alizarines, du brun d'anthracène et du noir de naphtol, qui teint la laine sans mordant avec une simple addition de bisulfate de soude. Plusieurs maisons teignent les laines peignées en rubans avant filature; elles effectuent l'opération au moyen d'appareils variés sur la matière mise en bobines.

Pour les *soies*, M. Persoz constate tout d'abord que la pratique de la charge s'est développée depuis 1878, mais qu'elle s'est en même temps perfectionnée, de manière à mieux ménager la fibre. On emploie beaucoup de bichlorure d'étain, qui donne à la matière un toucher particulier, convenant bien à certaines étoffes, et respecte néanmoins le brillant comme la solidité de la soie; la teinture n'en est pas gênée, pourvu que l'on ait égard au rôle que l'oxyde d'étain peut jouer, en qualité de mordant, à l'égard de certaines matières colorantes. Le sesquioxyde de fer hydraté est approprié aux noirs et à quelques nuances foncées; on se sert surtout du mordant de rouille, obtenu en traitant par l'acide nitrique un mélange de sulfate de fer et d'acide sulfurique; l'oxyde de fer vaut mieux que l'oxyde d'étain, au point de vue de l'altérabilité de la fibre par l'air et par la lumière, mais peut rendre la soie très combustible, inconvénient auquel on remédie par le tanin; ajoutons encore que la charge à l'oxyde de fer contribue à l'obtention de la couleur et à la fixation ultérieure des astringents. Exclusivement utilisées autrefois pour les noirs, les charges au tanin peuvent l'être maintenant pour les nuances les plus claires.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Des progrès ont été accomplis dans la teinture des soies par l'application de séries de couleurs très résistantes, la plupart sur mordant de chrome; l'usage du noir d'aniline se répand.

Avant 1870, la *teinture des tissus de soie* était limitée aux foulards, aux satins et aux doublures, dont la texture légère se prêtait aisément à la cuite et à la teinture au tourniquet. Aujourd'hui l'industrie lyonnaise teint des tissus bien plus variés : cette extension de la teinture en pièces, substituée à celle des fils, facilite le tissage, diminue les déchets, soustrait le fabricant au risque de voir les nuances démodées lors de l'achèvement du tissu, lui permet d'avoir de plus grandes réserves en écru et assure la fourniture rapide des nuances désirées par la clientèle.

La teinture des *tissus de soie mélangés de laine ou de coton* présentait de grosses difficultés, eu égard aux différences de propriétés de ces textiles. On est arrivé à résoudre le problème. Actuellement les teinturiers savent fort bien réaliser, sur les tissus mélangés de laine et de soie, les nuances unies et même les nuances différentes : dans ce dernier cas, il faut recourir à des matières colorantes ayant des affinités opposées pour les deux fibres. On a de même perfectionné la teinture des tissus de soie et coton, et réalisé ce genre par des moyens mécaniques.

4. Apprêts. — Les tissus ne sauraient entrer dans la consommation sans avoir subi diverses opérations qui leur donnent un aspect agréable à l'œil, un éclat particulier, un toucher spécialement approprié à leur usage. Ces opérations, souvent fort complexes, constituent l'apprêt, dont la bonne exécution exerce une influence considérable sur la vente.

Parmi les apprêts, le plus élémentaire, le plus connu, est le repassage du linge : la chaleur du fer, combinée avec la pression, fait disparaître les plis et rend la surface brillante, surtout quand on incorpore au tissu des enduits gommeux ou gélatineux; il faut d'ailleurs que le linge soit légèrement humide, afin de dégager de la vapeur et d'accroître la souplesse des fibres sous le passage du fer.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

D'une manière générale, les agents d'apprêt sont la pression, la chaleur, l'humidité et un enduit. La pression peut se donner entre des rouleaux, comme dans les calandres, ou à la presse hydraulique. Tout en étant assez élevée pour sécher les objets et même pour faire contracter les fibres, la chaleur doit rester au-dessous de la limite qui les exposerait à des altérations : à ce point de vue, l'emploi de la vapeur d'eau comme moyen de chauffage offre toutes garanties. Il importe de ne point pousser l'humidité à l'excès; la nécessité de vaporiser une trop grande quantité d'eau porterait obstacle aux effets du chauffage. Les enduits le plus en usage sont la fécule, l'amidon, la colle animale et notamment la colle de poisson; on y ajoute fréquemment d'autres corps tels que l'alun, le savon blanc, la stéarine, etc.; une fois imprégnée, l'étoffe doit être soumise à la dessiccation.

Ces courtes indications ne donnent qu'une faible idée des manipulations diverses exigées par les apprêts. Les effets varient à l'infini, et avec eux les méthodes de traitement, les agents d'action, les produits utilisés, les appareils mis en œuvre, les manutentions. A l'apprêt parfois si compliqué par lui-même, se rattachent les opérations ayant pour but d'élargir ou d'allonger les tissus, de les fouler, de les gaufrer, de les tirer à poils, de les imperméabiliser. On compte, pour certaines étoffes, jusqu'à dix-huit manipulations successives.

En 1878, M. Schützenberger a consigné dans son rapport les renseignements les plus détaillés sur l'apprêt des tissus de coton. Il passe en revue l'apprêt des tissus légers, l'apprêt chiffon, l'apprêt fleur, les sous-apprêts, l'apprêt moiré, simple ou double, l'apprêt ramé, l'apprêt glacé, l'apprêt calandré, l'apprêt cylindré, l'apprêt satiné, etc.; il explique comment on augmente le poids des étoffes légères, comment on en comble les mailles, en additionnant la fécule et l'amidon d'autres matières, notamment de matières minérales. Il décrit le déraillage, opération destinée à supprimer les éraillures, à rétablir la situation première des fils dans les tissus dont la trame et la chaîne sont sans liaison; il montre la machine à beetler, servant à l'assouplissement des satinettes; il donne aussi la description du tirage à poils, c'est-à-dire du grattage au moyen d'une brosse ou d'un chardon mé-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

talliques, pour extraire partiellement les fibres et imprimer au tissu une apparence pelucheuse.

A propos de l'Exposition de 1889, M. Persoz insiste sur une industrie singulière, celle du polissage des étoffes de soie pure ou de soie tramée coton. Le frottement d'une lame d'acier enlève au tissu son aspect quadrillé ou grillagé, lui communique plus d'épaisseur, de main et d'opacité, ce qui est essentiel en particulier pour les parapluies et les ombrelles. Aujourd'hui le polissage s'effectue à la machine; un tampon en caoutchouc soutient l'étoffe et lui permet de suivre les ondulations provoquées par les lames raclantes.

Le rapporteur signale aussi les gaufrés inaltérables ou permanents, sur tissu de laine ou de laine et soie, les gaufrés imprimés, les impressions en relief qui imitent la broderie et où le gaufrage joue un rôle important.

Enfin il mentionne les procédés d'imperméabilisation, soit à l'aide de solutions hydrocarburées de caoutchouc, de paraffine, de blanc de baleine, etc., soit par des savons d'alumine formés dans le corps même de la fibre.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE VII.

CUIRS ET PEAUX[1].

1. Notions historiques. — Dès l'origine, l'homme a utilisé les dépouilles d'animaux pour se couvrir, pour se créer des abris, pour doubler ses barques et ses pirogues. Mais pendant longtemps il ignora les procédés de tannage et se borna à faire subir aux peaux une simple préparation pratiquée avec de l'huile, de la graisse, du lait, de l'urine, etc. : c'est encore à ces moyens primitifs et peu dispendieux que recourent certaines peuplades sauvages.

Il est impossible de repérer les étapes successives par lesquelles est passé le travail des peaux. L'histoire ancienne ne nous a guère laissé d'indications un peu précises que sur le parchemin, dont les Hébreux et les Grecs faisaient usage plusieurs siècles avant Jésus-Christ; Cicéron dit avoir vu à Rome toute l'*Iliade* d'Homère écrite sur du parchemin d'une si grande finesse qu'on avait pu la renfermer dans une noix : les noix devaient avoir des dimensions fort respectables au temps de l'illustre orateur.

En France, on a retrouvé une multitude d'édits, d'ordonnances, de lettres patentes, réglementant la tannerie et le commerce des cuirs à partir du XI^e^ siècle. Le 6 août 1345, Philippe de Valois imposait des statuts aux tanneurs, corroyeurs et baudoyers; par un édit de 1585, Henri IV instituait la marque officielle après visite des maîtres, gardes et jurés. Tous ces vieux règlements édictent des dispositions minutieuses sur les rapports entre les bouchers et les tanneurs, sur le travail de rivière, sur le temps pendant lequel les cuirs doivent rester dans les passements et dans les fosses, sur les conditions de la vente.

[1] Voir *infra*, treizième partie, chapitre IV, *Matériel de la tannerie, de la mégisserie, de la corroirie.*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Jusqu'en 1655, le pouvoir souverain avait eu pour but unique d'assurer la bonne qualité des cuirs livrés à la consommation. Mais, à cette époque, le fisc insatiable vint s'abattre sur la tannerie et la corroirie, frappant sans pitié toute une catégorie de produits indispensables à l'homme; on créa des charges, des offices, des bureaux de contrôle; on nomma des jurés, des marqueurs, contrôleurs et vérificateurs, qui se hâtèrent de pressurer leurs justiciables. Beaucoup de tanneries et de mégisseries succombèrent; l'industrie nationale en était réduite à exporter ses cuirs en vert et à importer des cuirs tannés.

A la suite de réclamations pressantes, un édit de 1759 supprima les offices et substitua au régime en vigueur celui d'un droit unique à payer entre les mains des fermiers régisseurs. Les choses n'en allèrent pas mieux; l'exercice vexatoire de la régie et ses exigences intolérables aggravèrent même la situation; beaucoup de tanneurs se virent réduits à quitter la France avec leurs ouvriers et à chercher ailleurs une terre plus hospitalière.

La marque et l'impôt disparurent enfin, lors de la Révolution. Affranchie des entraves qui portaient obstacle à son développement, notre production prit un vif essor et se trouva bientôt en mesure de faire face aux besoins impérieux de l'équipement militaire, pendant la longue période des guerres de la première République et de l'Empire. Ces besoins étaient tels qu'il fallut chercher des moyens d'abréger l'opération du tannage. Séguin imagina un procédé qui lui permit de livrer rapidement les fournitures nécessaires aux armées; malheureusement les acides auxquels il eut recours rendaient les cuirs secs et cassants, diminuaient leur consistance, réduisaient leur durée. Malgré son utilité du moment, l'innovation fut en définitive fâcheuse pour la tannerie et par contre-coup pour la corroirie française.

En dehors des cuirs pour chaussures et harnachement, voici quelle était la situation de notre industrie vers la fin de l'Empire. Didier avait introduit en 1802 la fabrication du vernis; toutefois nous ne possédions que deux usines, dont les produits ne présentaient pas la souplesse voulue, ne convenaient ni à la chaussure ni aux harnais, et s'appliquaient seulement à la confection des visières, des ceinturons et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des revers de bottes. Importé d'Orient et entrepris à Choisy-le-Roi en 1797, le travail du maroquin s'était promptement développé, au point de mériter une des douze médailles d'or de l'Exposition de 1801 ; mais il demeurait limité aux couleurs rouges, brunes et noires, et n'arrivait pas encore à réaliser cette variété de couleurs, qui devait plus tard lui procurer au dehors de larges débouchés. La mégisserie, comprenant la fabrication des chevreaux et agneaux alunés pour ganterie, ainsi que la préparation des moutons en cuir blanc pour doublure de chaussures, étendait péniblement son domaine. Quant à la chamoiserie, elle avait été servie par la consommation relativement considérable des culottes et des gants de peau dans l'armée.

Lorsque l'ère des batailles eut fait place à une ère de paix, les fabricants de cuirs et peaux, quelque peu atteints par la réduction des effectifs militaires, bénéficièrent en revanche d'un accroissement de la consommation civile; ils surent du reste prendre pied sur les marchés étrangers, grâce à la supériorité de leurs produits.

Seule, la tannerie parisienne continua à subir les fâcheux effets des procédés mis en pratique sous l'Empire. Elle ne pouvait se relever qu'à la condition de revenir à des méthodes meilleures, de renouer la tradition interrompue. A l'Exposition de 1834, le jury put constater une certaine amélioration; déjà le commerce spécial des cuirs, reconnaissant les efforts de M. Sterling, lui offrait une médaille d'or, pour le remercier d'avoir imprimé aux fabriques de Paris une réaction salutaire. En 1839, le rapporteur enregistrait de véritables succès; les conseils d'habiles professeurs, joints aux connaissances pratiques de quelques bons tanneurs, avaient déterminé une heureuse rénovation.

En même temps la corroirie se perfectionnait. Des progrès considérables se manifestaient dans la mégisserie, dans la fabrication du vernis, de même que dans la maroquinerie, qui était parvenue à appliquer sur ses diverses qualités de peaux toutes les nuances, même les plus délicates. Il n'y avait de stagnation que dans les affaires de la chamoiserie et de la parcheminerie, dont l'état de souffrance tenait au remplacement du chamois par le feutre et du parchemin par le papier.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Depuis, le progrès s'est continuellement accentué, ainsi que l'atteste la statistique de notre commerce extérieur. Tandis qu'en 1840 nous exportions à peine pour 8 millions de francs de peaux préparées, l'exportation de 1889 a atteint 108 millions de francs; pendant la même année, l'importation n'a pas dépassé 27 millions de francs. Les résultats sont encore plus satisfaisants pour les ouvrages en peau ou en cuir : car les entrées de 1889 n'ont pas été de plus de 9,300,000 fr., alors que les sorties s'élevaient à 135 millions.

Suivant les évaluations de M. Poullain, rapporteur du jury de la classe 47, l'industrie française des cuirs et peaux et celles qui les transforment donnent lieu à un mouvement d'affaires de 3 milliards au moins et occupent 400,000 ouvriers.

La situation prospère de ces industries se justifie par la bonne qualité de leurs produits. Instruite par ses erreurs passées, la France reste actuellement fidèle au système classique de tannage. Au contraire, la plupart des autres pays, voulant avant tout produire à bon marché, se sont engagés dans la voie des tannages rapides : c'est pour eux une cause d'infériorité.

2. Tannage des cuirs forts et des cuirs mous. — Le tannage a pour but de transformer les peaux en une substance qui reste maniable et élastique, même après dessiccation, et qui soit en même temps imputrescible.

On sait que la peau se compose de plusieurs couches distinctes. Au dehors, c'est l'épiderme, formé extérieurement de cellules mortes, qui tombent par desquamation, et intérieurement de cellules à noyau vivantes. Ensuite vient le derme constitué par l'entrelacement et le feutrage de fibrilles; les faisceaux de fibrilles sont gonflés d'un liquide qui entretient l'humidité et la malléabilité de la peau. La couche la plus profonde du derme présente un tissu cellulaire très lâche, contenant de la graisse et des glandes sudoripares.

Abandonnées sous l'eau ou mises en contact avec certaines solutions acides, alcalines ou salines, les peaux se modifient de telle façon que les poils s'enlèvent facilement par des opérations mécaniques. Le

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

derme reste sous forme d'une membrane gonflée, demi-transparente, qui, en se desséchant, devient dure et cornée, en même temps qu'elle perd toute élasticité et toute malléabilité : cet effet résulte de ce que les faisceaux entrecroisés du tissu fibreux cellulaire se collent les uns aux autres. L'emploi des substances tannantes a précisément pour objet d'empêcher l'accolement des fibres, de ménager leur indépendance, de leur permettre de glisser les unes sur les autres; il rend en outre le cuir imputrescible.

D'après les recherches de M. Knopp, le tannage repose sur une action physique plutôt que sur une action chimique. Les substances tannantes pénètrent dans la peau par endosmose, enveloppent les fibres, adhèrent à leur surface par suite d'une attraction semblable à celle qui détermine la précipitation des matières colorantes sur les fibres textiles. Ainsi enveloppées d'une matière étrangère, les fibres ne se collent plus en séchant.

Les procédés classiques de tannage ne sont généralement pas les mêmes pour les cuirs forts et pour les cuirs à œuvre. On appelle cuirs forts des cuirs à grain très serré, à pâte bien homogène, à couleur uniforme, élastiques quoique fermes, aussi imperméables que possible, fabriqués avec des peaux de bœuf et destinés aux semelles de chaussures. Quant aux cuirs à œuvre ou cuirs mous, ils sont propres à tous les usages; simplement lissés à l'eau, ils font d'excellents cuirs pour semelles; plus ou moins pénétrés de matières grasses, ils acquièrent, suivant les façons de corroirie qu'on leur fait subir, les qualités nécessaires à la la confection des empeignes, des selles, des harnais, des courroies de transmission, etc.; ils doivent réunir l'uniformité de couleur, le serrage du grain (à un degré moindre cependant que les cuirs forts), la fermeté et la souplesse, enfin la finesse et la netteté de la fleur; tous les genres de peaux y sont employés.

Pour les cuirs forts, on enlève les poils à l'échauffe, c'est-à-dire après une fermentation naturelle qui relâche le tissu épidermique. L'écharneur fait ensuite disparaître toutes les chairs encore adhérentes à la peau. Ainsi nettoyées, les peaux ne peuvent être soumises

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

immédiatement à l'action énergique du tan, qui en parcheminerait l'épiderme; il est indispensable de les préparer en quelque sorte par le passement ou trempage de vingt-quatre heures dans une série de cuves renfermant du jus de tan dont le degré s'élève progressivement; la dernière cuvée est additionnée d'une petite dose d'acide sulfurique, qui contribue à gonfler le cuir, tout en lui donnant de la fermeté. Le passement est suivi de la potée et des refaisages, qui durent ensemble deux mois et pendant lesquels on étale les peaux dans de grandes cuves, où elles sont séparées par des couches de tan et d'écossons, et abreuvées de jus de tan pur. Enfin le tannage se termine par trois ou quatre passages, de trois à cinq mois chacun, dans des fosses; les cuirs y sont couchés, séparés entre eux par une bonne couche de tan, qui est ensuite fortement humecté de jus pur.

Pour les cuirs à œuvre, l'épilage a lieu à la chaux, par des trempages de quarante-huit heures dans des bains de force graduée : les cuves employées à cet effet portent le nom de *pelains*, et l'opération elle-même celui de *pelanage*. On écharne les peaux, et on élimine par des façons successives la chaux qui a pénétré dans les pores. Tout cela constitue ce que l'on appelle le travail de rivière. Puis viennent le passement, analogue à celui des cuirs forts, deux refaisages d'un mois chacun et le passage en fosses.

Il y a là une suite de manipulations qui exigent un temps très long et dont la durée pour les gros cuirs dépasse quelquefois seize à dix-huit mois. De nombreuses tentatives ont été faites pour les abréger. J'ai déjà dit comment Séguin était parvenu, sous la première République, à tanner des peaux en quelques mois; d'autres essais, dus à Vauquelin et à Sterling, ont conduit au tannage à la flotte, qui réduit des deux tiers le temps nécessaire à l'application des procédés classiques.

Le tannage à la flotte et aux extraits, qui, pour les gros cuirs, demande seulement cinq à six mois au lieu de seize à dix-huit, est précédé du travail de rivière. Il comporte le passage des peaux dans douze cuves remplies d'un liquide formé d'extraits tanniques et d'eau;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

le titre de ce liquide augmente progressivement. Dans la première cuve, où le séjour des peaux ne dépasse pas deux jours, on ajoute une certaine quantité d'acide oxalique. Pour chacune des autres cuves, le trempage dure huit à dix jours. Les peaux y sont mises en mouvement par des moyens mécaniques.

Bien que présentant sur la tranche une coloration plus uniforme et accusant une plus grande résistance au dynamomètre, les cuirs tannés à la flotte sont inférieurs aux cuirs tannés à l'écorce : ils ont la fleur moins fine, le grain moins serré; leur perméabilité est plus grande; ils deviennent cassants et résistent moins à l'usage.

Frappés de ces inconvénients, beaucoup de tanneurs recourent à un procédé mixte, commencent le tannage par le procédé à la flotte et le terminent par un ou deux séjours en fosse.

Une autre méthode, qui pourrait révolutionner l'industrie des cuirs, mais que l'expérience n'a pas encore permis de juger, est celle du tannage à l'électricité. Son principe consiste dans l'agitation de la peau au contact du liquide tannique, jointe à la circulation d'un courant électrique au travers du liquide. C'est toujours le tanin qui transforme la peau; l'électricité n'a d'autre rôle que d'en accélérer l'absorption.

Avec cette méthode, on tanne en quatre-vingt-seize heures de gros cuirs, dont le tannage par les anciens procédés demande de cinq à vingt mois.

3. Façon des cuirs pour semelles. Corroyage. — Les cuirs forts pour semelles n'ont à subir que l'opération du battage, qui se fait généralement au moyen d'un marteau à vapeur et qui est destinée, tant à resserrer les fibres qu'à rendre les faces plus lisses. On reconnaît à notre pays une prépondérance réelle pour ces cuirs.

Habituellement faits de peaux de bœuf ou de vache, tannées à œuvre, soit à l'écorce, soit à la flotte, les cuirs lissés ou étirés pour semelles subissent les façons suivantes : essorage au sortir des fosses; rebroussage sur une table, à l'aide de la marguerite, secteur de cercle

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

armé de dents, qui se manœuvre à la main ou mieux à la machine et qui assouplit la peau; butage de la chair, à l'étire ou à la machine; imbibition d'eau dans laquelle est délayée de la farine de seigle, pour coller les filaments qui se relèveraient après dessiccation; mise au vent, côté de la fleur, avec la querce; mise en sèche; retenage, c'est-à-dire coup d'étire achevant de serrer les fibres et de polir la fleur; dernière dessiccation. C'est encore la France qui tient la tête dans cette branche de fabrication.

Les façons fondamentales de la corroirie sont analogues à celles qui viennent d'être énumérées. Elles comprennent l'essorage au sortir des fosses ou la mouille des cuirs secs; l'assouplissement au foulon ou à la marguerite; le butage à l'étire; le dérayage au couteau ou la refente mécanique; la mise au vent, avec très peu ou beaucoup d'eau, suivant les cas; le retenage; le grainage ou le glaçage de la fleur. Ces manipulations comportent de nombreuses variantes. Certains cuirs, tels que les cuirs pour harnais ou pour soufflets, doivent être mis en suif à l'étuve; les autres, à l'exception des cuirs lissés, sont nourris de dégras ou d'huile mélangés ou non de suif.

4. Observations diverses sur les cuirs pour sellerie, bourrellerie, équipements militaires, etc., et sur les veaux blancs et cirés. — Les cuirs pour la sellerie fine viennent pour la plus grande partie de l'Angleterre; au fond ils ne valent pas les nôtres, mais ont un moelleux et une couleur qui les font rechercher. Nous reprenons l'avantage dans la sellerie ordinaire, la bourrellerie et les équipements militaires.

Parmi les veaux blancs et cirés, on distingue les veaux fins, desinés aux chaussures de ville et de luxe, qui donnent lieu à une exportation considérable, et les veaux lourds, qui alimentent la consommation nationale et s'exportent en assez grande quantité. M. Poullain place les fabricants français au premier rang; leurs cuirs, parfaitement tannés à l'écorce de chêne vert, ont la couleur franche et uniforme, en même temps que la tranche serrée. Le rapporteur classe la Suisse après la France.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

5. Cuirs vernis. — L'application du vernis sur le cuir le rend imperméable et brillant. C'est un travail fort difficile : il faut que le vernis adhère au cuir d'une manière irréprochable, qu'il fasse pour ainsi dire corps avec lui, qu'il soit assez élastique pour en suivre tous les mouvements sans s'enlever ni se gercer.

Il n'y a guère plus d'un siècle que sont apparus en Angleterre les premiers cuirs vernis : leur emploi dans les harnais et les voitures formait le complément du luxe par lequel se distinguaient, dès cette époque, la carrosserie et la sellerie anglaises. Les produits pour chaussures laissaient beaucoup à désirer.

M. Plummer introduisit chez nous, en 1801, l'industrie des cuirs vernis pour carrosserie; ses efforts furent couronnés par un succès éclatant. Vers 1830, MM. Nys et Longagne parvinrent à donner aux vernis pour chaussures la souplesse et le brillant voulus. Bientôt les pays étrangers et l'Angleterre elle-même devinrent tributaires de la France; dès 1851, M. Fauler, rapporteur à l'Exposition de Londres, évaluait notre production à 7 ou 8 millions de francs. Depuis, le progrès a été considérable.

On emploie des peaux d'un bon tannage, refendues en tripes et corroyées. Le vernissage se décompose en trois opérations : apprêtage; vernissage proprement dit; séchage.

De ces trois opérations, la première a pour but de garnir la superficie du cuir et de la rendre bien unie. Elle comprend une longue série d'applications de divers apprêts, ainsi que des ponçages successifs; les premières couches d'apprêt sont à base d'huile de lin, avec incorporation de matières pulvérulentes comme le blanc de Meudon, l'ocre et le noir de fumée; dans les dernières, on supprime l'ocre et la craie, et on a recours à du noir d'ivoire délayé avec de l'essence de térébenthine.

La composition des vernis est très variable. Ils consistent généralement en mélanges d'huile de lin cuite, de bleu de Prusse, de noir de fumée et de gomme laque.

Nos cuirs vernis, remarquables par leur beauté et leur qualité, figuraient très honorablement au Champ de Mars.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

6. Maroquinerie. Cuir de Russie. — La fabrication du maroquin est aussi difficile qu'intéressante; elle exige tout à la fois la connaissance approfondie du travail des cuirs et des notions chimiques assez étendues sur la préparation et l'application des couleurs. A peine était-elle connue en France quand, vers le milieu du siècle dernier, Barrois et quelques autres tanneurs entreprirent d'imiter les cuirs coloriés de Russie et les maroquins rouges et jaunes du Levant; à cette époque, on faisait aussi des bruns au moyen du campêche. Mais les procédés étaient très imparfaits; dans la plupart des cas, les couleurs s'appliquaient simplement à la brosse et au chiffon. Aussi en était-on réduit à tirer les beaux maroquins du Levant et de l'Angleterre.

Très peu avant le XIX^e^ siècle, MM. Fauler et Kemph fondèrent à Choisy-le-Roi une usine spéciale et réussirent bientôt à produire, avec la cochenille, des cuirs rouges tout à fait supérieurs par leur beauté et leur éclat; la couleur de ces cuirs avait une fixité suffisante pour résister à l'action du sumac et des acides. Des couleurs plus variées et plus unies furent ensuite obtenues à l'aide du campêche, du brésil, du bois d'épine-vinette; de 1815 à 1820, les fabricants parvinrent à teindre en bleu indigo; ce pas franchi, ils réalisèrent à l'aide de la cochenille les violets, les pensées, les lilas, ainsi que des couleurs légères très brillantes, très vives et d'une extrême solidité. En même temps, les fabriques de Strasbourg firent, à l'instar de l'Allemagne, le mordoré à reflets métalliques, par l'emploi du bois de campêche et de certains sels.

Presque à la même date, l'usine de Choisy commençait à livrer au commerce des nuances claires et variées, analogues à celles de la soie pour les meubles et du satin pour les bottines : c'était une grosse difficulté vaincue.

Lors de l'Exposition de 1827, M. Blanqui exprima le regret de n'y point voir figurer de maroquins chagrinés présentant un grain comparable à celui des cuirs du Levant. En effet, on ne préparait alors le chagrin que sur des morceaux découpés pour la reliure et en se servant d'une planche gravée et chauffée; le grain n'avait ni la fer-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

meté ni la régularité désirables. Le relieur Thouvenin sortit le premier de l'ornière, et, après des essais assez prolongés, on arriva enfin à produire un grain ferme, serré, égal, mat au fond, brillant à la surface. Ce progrès venait à point, au moment où le vernis tendait à supplanter le maroquin dans la chaussure.

Au cours de son rapport sur l'Exposition de 1851, M. Fauler a fait connaître le procédé imparfait, mais très curieux, en usage à Astrakan et dans tout l'Orient pour la fabrication du maroquin chagriné. Ce procédé consistait à répandre de la graine de moutarde sur le cuir (côté de la chair), puis à l'exposer au soleil : pendant la dessiccation, cette graine pénétrait profondément dans la peau et y imprimait des aspérités persistantes.

Une difficulté dont les maroquiniers ont eu quelque peine à triompher est celle d'un séchage prompt, facile en toute saison et inoffensif pour les nuances délicates. Le problème a été résolu par les fabricants de Choisy, au moyen d'une chambre à air chaud munie de ventilateurs mécaniques.

Depuis, la préparation du maroquin a encore notablement progressé. La France y excelle comme dans toutes les industries de luxe et de goût.

Le maroquin se fait avec des peaux de chèvre et de bouc; soumises aux mêmes manipulations, les peaux de veau et de mouton donnent des cuirs maroquinés.

Généralement l'ébourrage s'effectue à la chaux; après un foulage à grande eau, les peaux sont placées dans un confit de son et se gonflent sous l'action de l'acide lactique. Le tannage est opéré au sumac : autrefois il précédait toujours la teinture, du moins pour les cuirs rouges; cette méthode continue à être appliquée, quand la peau doit être teinte au chlorure d'étain et à la cochenille. Sauf cette exception, les peaux sont tannées, teintes, essorées, mises au foulon, recouvertes d'une légère couche d'huile de lin, disposées en pile fleur sur fleur, portées à la sèche, drayées, enduites d'une composition spéciale sur la fleur et d'un encollage sur la chair, passées à la ma-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

chine à lisser et travaillées, d'abord à la paumelle à dents fines, puis à la paumelle garnie de liège.

Le cuir de Russie s'obtient en gonflant les peaux dans un bain monté avec de la farine de seigle et du levain, en les tannant à l'aide de jus d'écorce de saule ou de bouleau, puis en les imprégnant d'huile de bouleau et en les soumettant au foulage, à l'étirage et à la teinture.

7. Mégisserie. — L'art de mégisser les agneaux et chevreaux pour gants est très ancien, car dès 1407 les mégissiers avaient des statuts réguliers. A cette époque, la France possédait de nombreux troupeaux de chèvres.

Diverses circonstances infligèrent des crises redoutables à la mégisserie française. Il y a lieu de citer notamment la révocation de l'édit de Nantes, qui obligea beaucoup d'ouvriers à s'expatrier et à porter dans divers pays l'exercice de leur profession, puis les mesures rigoureuses de destruction prises contre les chèvres dans l'intérêt de la conservation des bois. En 1784, les gantiers de Grenoble présentèrent leurs doléances au roi et sollicitèrent, d'une part, la prohibition des peaux de chevreau et d'agneau à la sortie, d'autre part, la libre entrée des peaux étrangères. A la suite de cette requête, un édit de 1786 institua un droit très élevé sur la sortie des peaux en poil et des peaux mégissées. Cet édit eut des conséquences inverses de celles qu'on en espérait et dut être abrogé en 1788. La mégisserie française continua à végéter jusqu'en 1793, date à partir de laquelle elle prit tout son essor et reconquit sa supériorité sur la fabrication étrangère. Son prodigieux développement s'accentua surtout après 1827. M. Poullain estime à 100 millions au moins la valeur des peaux mégissées en France; c'est la moitié de la production européenne.

Au début, les seules peaux mises en œuvre étaient celles d'agneau et de chevreau. Plus tard, la mégisserie s'est emparée du mouton, de la chevrette, du veau. Elle apprête les peaux en blanc, destinées à la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ganterie et à la chaussure, ainsi que les peaux qui doivent conserver leur poil ou leur laine, pour les tapis, les housses, les fourrures.

Le travail des mégissiers a principalement pour but de saponifier et d'extraire la graisse et le mucus remplissant les interstices du tissu cellulaire, puis de remplacer ces matières par un habillage ordinairement composé de jaune d'œuf, de farine, de sel et d'alun. L'ébourrage se fait soit à la chaux et à l'orpiment, soit à l'échauffe, soit au moyen de divers produits chimiques. Pour les peaux devant conserver leur poil, la fermentation des tissus est arrêtée par un bain d'alun et l'habillage s'effectue à l'alun additionné de farine.

8. Chamoiserie. — La maroquinerie emploie les peaux de bœuf et de vache, pour l'équipement militaire, et les peaux de mouton, de chèvre, de cerf, de daim, pour la gainerie, la reliure et l'industrie des culottiers. Elle doit leur donner de la souplesse, tout en respectant leur solidité, et les rendre imputrescibles.

Après leur passage par des opérations préparatoires analogues à celles de la mégisserie, les peaux subissent les manipulations suivantes : effleurage; trempe; tordage à la bille; imbibitions répétées d'huile de poisson et foulage au pilon; chauffage en étuve à 25 degrés; remaillage, c'est-à-dire enlèvement du reste de l'épiderme; lavage à l'eau chaude et tordage; lessivage à la potasse et nouveau tordage; séchage; enfin, s'il y a lieu, ouverture au palisson.

9. Cuirs hongroyés. — Le cuir dit *de Hongrie* se fabrique en France depuis Sully. Il diffère du cuir tanné en ce que le tan est remplacé par du chlorure d'aluminium. Après dessiccation, il passe en suif avec de la graisse fondue et à une température assez élevée.

Ainsi préparées, les peaux ont beaucoup de force et de souplesse; elles sont recherchées par les bourreliers-selliers.

10. Parchemin. Vélin. — L'industrie du parchemin, si florissante au moyen âge et encore importante lors de la Révolution, est aujourd'hui bien déchue, par suite des progrès de la papeterie. Elle met en

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

œuvre la peau de mouton, de brebis ou d'agneau. Le parchemin sert à l'impression de certains actes ou titres, à la reliure et à la couverture des caisses de tambour.

Pour le parchemin commun, les opérations comprennent l'ébourrage à la chaux, l'exposition à l'air, l'écharnage au pistolet, la compression de la fleur; pour le parchemin fin, elles sont complétées par un ponçage, une friction au fer et un apprêt à la gélatine mélangée de colle d'amidon.

Le vélin utilisé dans la gravure, le dessin et l'impression de certains livres, n'est que du parchemin d'une qualité exceptionnelle, fait avec de la peau de veau.

11. Statistique commerciale. — Les mouvements d'importation et d'exportation ont été les suivants, depuis 1827 :

PÉRIODES OU ANNÉES.	PEAUX BRUTES.		PEAUX PRÉPARÉES.	
	IMPORTATION.	EXPORTATION.	IMPORTATION.	EXPORTATION.
	francs.	francs.	francs.	francs.
1827 à 1830..... (Moyenne.)	12,300,000	38,000	230,000	4,850,000
1831 à 1840..... (*Idem.*)	14,950,000	42,000	171,000	6,700,000
1841 à 1850..... (*Idem.*)	26,690,000	113,000	239,000	13,010,000
1851 à 1860..... (*Idem.*)	52,630,000	229,000	630,000	38,480,000
1861 à 1870..... (*Idem.*)	98,000,000	14,000,000	7,380,000	60,300,000
1871 à 1880..... (*Idem.*)	152,000,000	39,400,000	29,160,000	90,680,000
1881.....	151,800,000	50,270,000	33,370,000	100,200,000
1882.....	160,900,000	71,040,000	37,210,000	103,500,000
1883.....	183,500,000	71,400,000	41,860,000	106,000,000
1884.....	167,700,000	60,750,000	36,500,000	109,800,000
1885.....	181,500,000	71,300,000	30,420,000	104,300,000
1886.....	164,400,000	56,480,000	28,580,000	96,600,000
1887.....	145,800,000	53,390,000	26,400,000	93,700,000
1888.....	126,440,000	59,060,000	29,900,000	92,400,000
1889.....	169,700,000	64,110,000	26,900,000	107,800,000

Les pays où nous allons chercher la matière première sont principalement, pour les grandes peaux, l'Uruguay, le Brésil, la République Argentine, la Belgique, l'Allemagne, les Pays-Bas, l'Angleterre, le Pérou, l'Algérie, les Indes anglaises, etc.; pour les peaux de bélier, de brebis et de mouton, la République Argentine, l'Espagne,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'Australie, l'Uruguay, l'Algérie, l'Allemagne; pour les peaux d'agneau, l'Italie et l'Espagne; pour les peaux de chevreau, la République Argentine, l'Italie, l'Espagne, l'Allemagne, la Turquie; pour les peaux diverses, la Turquie, l'Allemagne, le Maroc, l'Algérie, l'Angleterre, l'Autriche, la Russie.

Nous envoyons des peaux brutes de grandes dimensions en Allemagne, en Angleterre, en Belgique, aux États-Unis, en Espagne, en Danemark, en Italie, en Grèce; des peaux de bélier, de brebis, de mouton, en Angleterre, en Allemagne, en Belgique, en Italie; des peaux diverses en Allemagne, aux États-Unis, en Belgique, etc.

L'importation de peaux préparées comprend des peaux tannées d'Angleterre, de Belgique, d'Allemagne; des peaux corroyées d'Angleterre et de Turquie; des peaux mégissées de Belgique; des peaux vernies ou maroquinées d'Allemagne, d'Angleterre et de Belgique; des peaux teintes d'Allemagne et d'Angleterre.

Quant à l'exportation des peaux préparées, elle va surtout vers l'Allemagne, l'Angleterre, la Belgique, l'Algérie, la Suisse, la Turquie, la République Argentine, l'Italie, l'Espagne, pour les peaux tannées; l'Angleterre, la Turquie, l'Allemagne, les États-Unis, l'Italie, la République Argentine, l'Algérie, la Belgique, pour les peaux corroyées; l'Allemagne, la Suisse, la Belgique, l'Autriche, pour les peaux mégissées; l'Angleterre, la Belgique, les États-Unis, l'Allemagne, la Turquie, l'Égypte, l'Algérie, la Suisse, pour les peaux vernies et maroquinées; l'Allemagne, l'Espagne, l'Autriche, la Suisse, l'Italie, pour les peaux teintes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TREIZIÈME PARTIE

L'OUTILLAGE
ET LES PROCÉDÉS DES INDUSTRIES MÉCANIQUES

(Groupe VI de l'Exposition universelle internationale de 1889)

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TREIZIÈME PARTIE.

L'OUTILLAGE ET LES PROCÉDÉS DES INDUSTRIES MÉCANIQUES.

(Groupe VI de l'Exposition universelle internationale de 1889.)

CHAPITRE PREMIER.

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DE L'EXPLOITATION DES MINES ET DE LA MÉTALLURGIE[1].

---

1. Considérations préliminaires. — L'exploitation des mines et la métallurgie ont pris naissance aux premiers âges de la société, dès que l'homme, abandonnant ses outils de silex, a commencé à se servir du bronze et du fer. Aujourd'hui le prodigieux développement de la production industrielle et la disparition graduelle du combustible végétal rendent la houille presque aussi indispensable que les métaux.

Un intérêt exceptionnel s'attache à l'étude du matériel et des procédés de l'industrie minérale, par suite de l'importance qu'ont acquise ses produits, soit à raison de leur rareté et de leur grande valeur intrinsèque, soit à raison de leur caractère d'objets de première nécessité.

Souvent la simple découverte d'un gisement nouveau et la constatation des moyens pratiques de l'exploiter constituent à elles seules une entreprise de longue haleine demandant beaucoup de temps et de capitaux.

Presque toujours, l'exploitation est une œuvre considérable. Il faut, dans beaucoup de cas, porter les travaux à plusieurs centaines de

[1] Voir *supra*, page 3, le chapitre consacré aux produits de l'exploitation des mines et à la métallurgie.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mètres de profondeur, lutter contre les eaux, contre le grisou, assurer une ventilation énergique des chantiers, recourir à de puissantes machines pour l'introduction des ouvriers et l'extraction des produits. Fréquemment impurs, quand ils arrivent au jour, ces produits ont à subir diverses élaborations, pour être débarrassés des matières stériles.

Habituellement, après cette préparation mécanique qui complète l'œuvre du mineur, la matière n'est pas encore susceptible d'un emploi immédiat dans l'industrie; elle doit être soumise à des opérations chimiques et mécaniques, rentrant dans le domaine de la métallurgie.

Ainsi l'industrie minérale et métallurgique forme un ensemble particulièrement complexe; il n'est guère de procédé technique qui lui reste étranger; on peut même dire qu'elle a contribué, pour une large part, au développement de plusieurs sciences et aux découvertes les plus marquantes des arts industriels. C'est, par exemple, l'exploitation minière qui a engendré les sciences toutes modernes de la minéralogie et de la géologie; c'est pour les mines qu'ont fonctionné, au moyen âge, les premiers moteurs hydrauliques rationnellement établis, et au dernier siècle, les premières machines à vapeur; c'est dans les mines que, plus récemment, ont été créées les voies ferrées; ce sont les nécessités de l'extraction et de la préparation des minerais qui ont fait naître et multiplier les appareils de ventilation, de triage, de classement, etc., utilisés ensuite par les autres industries; c'est à la métallurgie enfin que doivent être attribués les premiers progrès de la chimie, dont le rôle est actuellement si capital pour une foule de branches de la production.

2. Exploitation des mines. — a. *Généralités.* — Les progrès de l'industrie minière sont intimement liés à ceux des sciences mêmes dont elle a provoqué la naissance, ainsi qu'au développement des industries mécaniques. Rien d'étonnant, dès lors, à ce qu'avant d'atteindre l'âge de la maturité féconde, elle ait traversé une longue période d'enfance, alors que le précieux concours de ces sciences et de ces industries auxiliaires lui faisait défaut.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Cet essor admirable dont nous sommes les témoins ne remonte guère à plus de cinquante ans. En comparant les mines de houille de 1830 aux grandes installations nouvellement établies dans divers pays, notamment dans le nord de la France, on n'y voit guère d'autre trait commun que le but des unes et des autres : elles diffèrent profondément, aussi bien par la nature des moyens mis en œuvre que par la puissance de ces moyens et par l'intensité de l'exploitation.

La force des engins d'épuisement et surtout d'extraction s'est considérablement accrue; des procédés mécaniques ingénieux et variés sont venus pourvoir à la ventilation; les méthodes d'exploitation, particulièrement pour les gîtes puissants, ont été étudiées et perfectionnées; la préparation mécanique des minerais a subi des transformations essentielles; on est parvenu à attaquer les mines en traversant des terrains précédemment inabordables, etc.

Il n'est pas jusqu'aux éléments en apparence le moins propres aux nouveautés, comme l'introduction et la sortie des ouvriers, les transports intérieurs, le travail manuel du mineur à son chantier, qui n'aient été renouvelés ou ne soient en voie de l'être d'une manière plus ou moins complète.

Là de même qu'ailleurs, les modifications ont eu pour objet l'économie des frais généraux, par la concentration et le développement des moyens de production, et l'économie de main-d'œuvre, par l'usage de plus en plus étendu des engins mécaniques.

Du reste, aucune industrie peut-être n'était plus accessible que celle des mines à de telles modifications : en effet ni les capitaux, ni la compétence et l'intelligence dans la direction, ne lui ont jamais manqué; elle a eu, de plus, la bonne fortune de trouver des débouchés presque indéfinis, d'être poussée par une demande sans cesse croissante; elle a dû s'ingénier, bien moins pour placer ses produits que pour les mettre au niveau des besoins de la consommation, bien moins aussi pour utiliser tous les bras disponibles que pour remédier à leur insuffisance.

La transformation radicale du matériel est surtout apparue à l'Exposition universelle de 1878. A cette époque, les mines venaient de

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

se trouver aux prises avec les plus grosses difficultés, provenant d'une demande excessive et d'une production insuffisante pour y faire face. Partout les exploitants avaient été conduits à augmenter considérablement la puissance de leur outillage; cette puissance s'affirmait par les grandes machines d'extraction et d'épuisement qu'exposaient les constructeurs le plus en renom.

Comme toujours en pareil cas, la mesure a été dépassée. L'excès de la demande a fait place à un excès de production; il y a eu pléthore industrielle; les prix se sont avilis pour ne remonter qu'au moment même où l'Exposition universelle de 1889 témoignait d'efforts opiniâtres en vue de conjurer la crise.

A côté de ces efforts, dont le but était de réduire les frais de production à leurs extrêmes limites, on a vu se manifester une autre préoccupation, caractéristique de notre époque : je veux parler de l'appel fait à la science, pour améliorer la condition du travailleur, diminuer les dangers auxquels il est exposé, réduire le risque professionnel, malheureusement si redoutable dans certaines mines. C'est vers cet objet surtout que convergeait l'intérêt de l'exposition du matériel des mines en 1889.

Je vais tenter, après ces considérations historiques, de redire, dans un aperçu rapide, les principales étapes par lesquelles est passé l'art des mines, au cours de ce siècle.

b. *Sondages.* — Tout d'abord, il convient de signaler les progrès accomplis pour la reconnaissance des gîtes de substances minérales utiles au moyen de *sondages*.

Depuis la découverte par M. Mulot des gisements houillers du Pas-de-Calais (1839), les sondages pour la recherche de la houille se sont multipliés, principalement dans cette région et dans la Moselle. La science géologique est venue en aide au sondeur, pour lui indiquer le point exact où doit frapper son instrument; parmi les résultats industriels ainsi obtenus, il n'en est pas de plus frappant que celui du sondage de la Grand'Combe (Gard), qui a récemment enrichi la France d'une nouvelle extension de ses bassins carbonifères et donné une

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

confirmation éclatante aux déductions tirées par M. Grand'Eury de l'étude paléontologique à laquelle s'était livré cet ingénieur.

On pourrait également citer les nombreux sondages pratiqués dans le département de Meurthe-et-Moselle et destinés à la recherche du sel, ainsi qu'à son exploitation par dissolution.

Les sondages ont aussi pour objet, et plus souvent encore, la recherche des eaux jaillissantes, la création des puits dits *artésiens*, du nom de la province d'Artois où ils étaient connus longtemps avant qu'on songeât à en étendre l'usage aux explorations minières.

Aux eaux jaillissantes se rattachent naturellement les eaux minérales. L'art de trouver et de capter ces eaux florissait déjà durant la période gallo-romaine, comme l'art de les conduire et de les distribuer : il a largement profité de l'emploi de la sonde. Dans cette voie, nous avons été précédés par l'Allemagne : on sait les sources thermales puissantes que les sondages y ont amenées au jour (Kreuznach, Œynhausen, Nauheim, Kissingen, etc.); cela n'empêche pas la France d'être aujourd'hui le pays le mieux doté.

Enfin la sonde remplit un rôle prépondérant dans la recherche du pétrole en Pennsylvanie, au Caucase, en Galicie.

C'est à ces divers besoins, toujours plus impérieux, qu'est dû le développement des appareils de sondage.

Le sondage à la corde n'est guère employé actuellement qu'en Amérique, pour la recherche du pétrole. Quant aux grands sondages d'exploration en terrain houiller ou de puits artésiens, ils se font le plus généralement au moyen de sondes à tiges rigides. Toutefois, avec l'approfondissement des forages, on a dû renoncer à la solidarité de l'outil et de la tige, et avoir recours aux sondes à chute libre. Le premier dispositif de joint pratiquement appliqué à ces appareils a été celui du joint à coulisse d'Œynhausen; depuis, les systèmes de coulisses à chute libre se sont multipliés et perfectionnés.

Grâce aux modifications introduites dans l'outillage afin de l'approprier à des expéditions lointaines, l'art du sondeur a pu donner des résultats hygiéniques et économiques du plus haut intérêt, dans les contrées les moins favorisées au point de vue des conditions clima-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tériques. Tel est le cas des sondages artésiens entrepris par les ateliers militaires du colonel Desvaux dans le Sahara algérien, et notamment dans l'Oued Rir'. Commencée en 1856, l'œuvre de nos braves soldats s'est poursuivie avec un complet désintéressement et a ouvert la voie suivie par l'industrie privée à partir de 1878. On cite des puits fournissant jusqu'à 6,000 litres en une minute. Jadis désolée, la région possède maintenant de superbes oasis artificielles; la culture du dattier s'y développe et tend à rivaliser avec celle de la vigne dans l'Algérie du Nord; en même temps l'insalubrité disparaît, la population augmente, les indigènes se pacifient et la civilisation recu'e chaque jour les limites de son domaine.

c. *Fonçage des puits.* — Les sondages ne se limitent plus aux petits diamètres. Transformé par les progrès des arts mécaniques, l'instrument, si simple et si modeste encore vers 1840, a pris les dimensions gigantesques qui lui permettent aujourd'hui de réaliser le forage des puits à grande section.

On sait tous les obstacles que présente la traversée des terrains aquifères. La solution a été longtemps demandée au *cuvelage* ordinaire en bois, en fonte ou en maçonnerie, exécuté par reprises successives dans toute la hauteur des couches perméables. Mais ce moyen, tel qu'il était appliqué, ne suffisait pas toujours à vaincre les difficultés; souvent aussi il donnait lieu à des dépenses absolument excessives. Les ingénieurs ont dû chercher en conséquence de nouveaux procédés, d'une application plus générale et plus facile, avec lesquels le fonçage pût être pratiqué à *niveau plein*, ou du moins comme si l'on travaillait à *niveau plein*[1].

De nos jours, le système le plus ordinairement en usage est celui qui a été imaginé par M. Kind, puis perfectionné par M. Chaudron, inventeur d'un excellent cuvelage en fonte et de la boîte à mousse (1855-1857). Il consiste à foncer le puits comme un trou de sonde de grand diamètre, puis, lorsqu'on est arrivé au terrain pouvant

[1] On est à *niveau plein*, quand la hauteur de l'eau est la même à l'intérieur et autour du puits.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

servir de base au cuvelage, à introduire celui-ci, en l'allongeant par le haut à mesure qu'il descend. Appliqué pour la première fois au puits de Péronnes (Belgique), le procédé Kind et Chaudron constitua l'une des attractions de la classe du matériel minier à l'Exposition de 1867[1].

Ce procédé laissait bien loin derrière lui les méthodes antérieures, telles que la méthode Triger à l'air comprimé, dont la première application avait été faite en 1839 à un puits foncé dans une île de la Loire: le système Triger s'est depuis révélé comme un instrument d'une admirable fécondité pour les travaux du génie civil; mais, dans les mines, l'emploi en était limité aux terrains aquifères voisins de la surface. Une autre méthode, publiée en 1856 par Guibal et analogue en principe à celle du bouclier employé par Brunel pour le premier tunnel sous la Tamise, avait le défaut d'exiger des installations assez complexes; l'expérience a montré qu'elle était d'un usage difficile.

Le système à niveau plein de Chaudron a permis au contraire d'aborder des gisements qui, sans lui, n'eussent probablement jamais été mis en valeur; grâce à son emploi, le creusement des puits ne connaît pour ainsi dire plus de difficultés. En présence des résultats acquis lors de l'Exposition de 1889, on ne saurait maintenant hésiter devant le creusement à niveau plein de puits de 300 mètres.

Toutefois le procédé Chaudron est mis en échec pour la traversée des sables boulants, quand l'épaisseur de ces sables dépasse quelques mètres. Il y avait là une lacune qu'est venu combler un système tout récent. Sortant des sentiers battus, M. Pœtsch a eu l'idée de congeler le terrain dans lequel le puits doit être foncé. La première application date de 1883, et le fonçage de Jessenitz (Mecklembourg) à travers une couche aquifère de 75 mètres assure à ce procédé original une place dans l'exploitation normale des mines.

Les sondages permettent aussi d'exécuter des travaux délicats à de grandes profondeurs, sans qu'il soit nécessaire d'y pénétrer. On peut citer, parmi les plus belles opérations de l'industrie minière, la

[1] Les puits de l'Hôpital (Moselle), où il avait été employé, venaient de réussir au delà de toute espérance, quand fut ouverte l'Exposition de 1867.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

plate-cuve en béton récemment établie à Lens, par M. Reumeaux, au fond d'un puits qu'un coup d'eau rendait inaccessible : l'habile ingénieur fora dans l'axe du puits un sondage dans lequel il introduisit les matériaux de la plate-cuve.

d. *Percement des galeries.* — L'*air comprimé*, dont l'usage tend à disparaître dans le fonçage des puits, se généralise au contraire dans le percement des galeries souterraines. C'est à Combes que revient l'honneur d'avoir signalé dès 1835 l'avenir de la *perforation mécanique*, et les expositions successives n'ont fait que justifier ses prévisions.

Pendant bien longtemps, le travail principal du mineur, l'*abatage* de la roche, est resté exclusivement manuel. Le remplacement de la force musculaire par celle d'un moteur inanimé et la répartition de cette force motrice entre une multitude de chantiers mobiles et souvent fort éloignés les uns des autres constituent un problème délicat, dont la solution n'avait pas même été recherchée jusqu'au milieu de ce siècle; toute l'attention des exploitants se concentrait sur les moyens d'améliorer l'utilisation de la force humaine, en munissant l'ouvrier d'outils plus puissants que les instruments simples d'alors. Tel était le but des appareils Berrens et Trouillet, ainsi que de la machine à foret Lisbet, qui figuraient à l'Exposition de 1867.

C'est dans la section des mines de cette Exposition qu'apparurent les tentatives ayant pour but l'application d'une force motrice nouvelle (vapeur, eau ou air comprimé) au travail du chantier. Tout d'abord, on y voyait des *perforatrices mécaniques*, propres à creuser les trous de mine et fonctionnant, soit par percussion, soit par rodage. La première perforatrice à percussion qui ait été pratiquement employée fut celle dont Sommeiller se servit dans les travaux du Mont-Cenis; ses éléments agissaient à la manière des fleurets et recevaient leur mouvement d'un moteur à air comprimé. M. de la Roche-Tolay exposait une perforatrice à rodage, mue par une machine rotative à colonne d'eau et fondée sur l'emploi de la bague à diamants, dont le principe est dû à l'horloger suisse Leschot.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

A côté de ces outils, destinés au travail des roches dures qui s'attaquent à la poudre, se plaçaient les *haveuses mécaniques*, établies pour faire automatiquement le travail de la sous-cave ou du havage, dans les couches de charbon ou autres substances attaquables au pic. Telles étaient la machine à air comprimé de Jones et Levick, et la machine mue par l'eau, dite *Iron man*, de Carrett, Marshall et C^ie^.

La question du havage mécanique était tout à fait à l'ordre du jour en Angleterre, où la production des houillères s'augmentait annuellement de plusieurs millions de tonnes et où l'exploitant avait plus qu'autre part à souffrir de la rareté des ouvriers et de leurs exigences croissantes. D'ailleurs les gisements anglais de houille se prêtaient mieux que les gisements français ou belges à l'usage de ces moyens mécaniques.

En 1878, le grand nombre des perforatrices à air comprimé exposées au Champ de Mars témoignait de l'extension prise par la perforation mécanique. Les appareils à percussion semblaient tendre vers deux ou trois types bien définis, parmi lesquels la machine Dubois et François. On notait un développement nouveau dans l'application des perforatrices à rodage (appareil Brandt). Les constructeurs paraissaient avoir renoncé à l'automatisation complète de leurs machines, par suite de la complication excessive qui en résultait nécessairement pour les organes; dans la plupart des cas, l'avancement était produit à la main. Des efforts avaient été faits en vue de réduire le poids des appareils et de les rendre plus maniables; cette tendance se manifestait spécialement chez les constructeurs anglais, auxquels on devait plusieurs perforatrices légères et à grande vitesse, entre autres la perforatrice *Eclipse*.

Le havage mécanique ne répondait pas, même en Angleterre, aux espérances conçues par l'industrie minière. Mais la question de l'abatage avait fait un grand pas grâce au remplacement de la poudre par la dynamite, et l'Exposition de 1878 confirmait les progrès déjà nettement accusés à Vienne, en 1873, dans l'emploi des explosifs et dans les procédés d'amorçage.

Se développant avec une rapidité inouïe, la consommation de dy-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

namite était passée de 11,000 kilogrammes à 5 millions de kilogrammes, pendant la période de 1867 à 1878. De nouveaux mélanges explosifs faisaient leur apparition, entre autres la dynamite-gomme, insensible à l'action de l'eau. Enfin les procédés d'amorçage électrique et surtout le tirage des mines simultanées n'avaient plus guère de perfectionnements à réaliser, si l'on en juge d'après l'opération exécutée dans la rade de New-York, où 3,680 fourneaux éclatant simultanément, le 24 septembre 1876, détruisirent plus de 48,000 mètres cubes de roches, formant le récif de Hallet-Point.

L'essor des applications de l'air comprimé constituait l'un des faits saillants de l'exposition minière en 1889. Ses usages se sont multipliés, tandis que l'emploi de l'électricité aux exploitations souterraines restait confiné dans de timides expériences et que le domaine de l'eau sous pression demeurait lui-même fort restreint.

En 1878, l'air comprimé coûtait très cher et ne donnait qu'un rendement minime. Mais, la production des mines étant devenue insuffisante, il fallait à tout prix percer les galeries nécessaires pour la mise en valeur des nouveaux gîtes, et nul agent ne l'emportait, au point de vue de la vitesse, sur l'air comprimé, qui avait dès lors prévalu dans la perforation mécanique. Aujourd'hui, si la fièvre s'est apaisée, les installations n'en subsistent pas moins, et l'air comprimé distribue partout la force, au grand avantage de la production et de l'hygiène. Il sert à la perforation, à l'agrandissement des galeries en veines, au percement des galeries sans explosifs (bosseyement); c'est lui qui permet, comme à Blanzy, de concentrer en un seul étage la production de diverses exploitations séparées par la distance et la dénivellation; il apporte son concours à la traction mécanique, à l'extraction, à l'épuisement sur les vallées ou dans les puits intérieurs; c'est enfin grâce à lui que se multiplie l'aérage complémentaire, qui doit pénétrer dans les moindres recoins de la mine pour en expulser le grisou.

Certaines compagnies houillères, telles que Lens, possèdent une canalisation d'air comprimé de 40 kilomètres et sont à même de développer 3,000 chevaux-vapeur en marche active. Les installations

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

importantes se rencontrent fort nombreuses : la Société d'Anzin, qui, avec celle de Ronchamp, inaugura l'emploi de cet agent de transmission, consacre actuellement 525 chevaux-vapeur à la production de l'air comprimé.

Les moyens de compression sont devenus plus parfaits au fur et à mesure que s'étendaient les applications de l'air comprimé. Cependant le progrès est plus sensible dans la puissance de production que dans le rendement. Les compresseurs humides dérivés du compresseur à piston liquide de Sommeiller ou du type construit par M. Colladon pour le percement du Saint-Gothard conservent sur le continent une vogue largement méritée; en Angleterre et en Amérique, la faveur va aux compresseurs secs, dont les qualités dynamiques sont moindres, mais qui coûtent peu, occupent une place restreinte et ont une capacité productrice énorme par suite de leur très grande vitesse.

En ce qui concerne l'outillage même de la perforation mécanique, les appareils paraissent s'immobiliser dans quelques modèles, au nombre desquels le système Dubois et François, plus ou moins modifié, garde la prédominance en France et en Belgique. A côté de ce système bien connu, il existe de petites perforatrices, très répandues dans les mines américaines et donnant, sinon la même rapidité d'avancement, du moins un travail plus économique : les machines de cette catégorie, dont la perforatrice Ingersoll-Sergeant présentait à l'Exposition l'une des formes les plus perfectionnées, commencent à pénétrer dans les mines européennes.

Le havage mécanique a peu progressé en Angleterre depuis 1866, époque à laquelle l'*Iron man* fit ses débuts dans les houillères du Yorkshire. En France, grâce à l'initiative de Blanzy, il a été appliqué à l'exploitation des couches puissantes, et les résultats obtenus permettent d'en espérer la généralisation dans les attaques par *tranches horizontales,* que les exploitants du Centre tendent de plus en plus à adopter, au grand profit de l'économie et de la sécurité du travail.

Diverses sociétés houillères (Marihaye, Blanzy) emploient des *bosseyeuses* ou perforatrices à air comprimé de très gros calibre, pour

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

supprimer l'usage de la poudre dans l'agrandissement des galeries en veines et même dans le percement de certaines galeries à travers bancs, où la présence du grisou rend dangereux les explosifs. C'est qu'en effet le tirage à la poudre constitue la cause la plus fréquente et la plus meurtrière des explosions ordinaires du grisou [1] : les explosions par aérage insuffisant deviennent de plus en plus rares avec l'augmentation de puissance des appareils de ventilation et avec l'accroissement de section des galeries; la généralisation des lampes Mueseler, Marsaut, etc., a également diminué les explosions provenant des systèmes défectueux de lampes du sûreté. On conçoit donc tout l'intérêt qui s'attache aux précautions prises contre l'inflammation du grisou par les coups de mine, et, si les bosseyeuses ne se sont pas propagées davantage, à cause des installations coûteuses d'air comprimé qu'elles exigent, la sécurité dans les bosseyements a du moins profité de l'emploi des perforatrices à rodage et à bras, ainsi que des aiguilles-coins. La plupart des houillères exposantes affirmaient, en 1889, le parti que l'on a su tirer de ces appareils, plus ou moins dérivés de la perforatrice Lisbet, dont la Société des mines de Liévin se sert depuis une vingtaine d'années : des progrès sérieux ont été ainsi accomplis dans la voie de la suppression des explosifs.

Outre la solution radicale consistant à supprimer les explosifs, on peut en pressentir une autre dans la découverte d'un *explosif de sécurité*, qui serait sans danger en présence du grisou et des poussières charbonneuses [2]. Si cette découverte n'est pas encore réalisée, la route en a été néanmoins tracée par les travaux de la Commission française chargée de l'étude du grisou (1887) et surtout par la direction que MM. Mallard et Le Chatelier ont imprimée à ces travaux : abandonnant les méthodes empiriques suivies par les commissions anglaise et prussienne, ces habiles et savants ingénieurs se sont atta-

[1] Je ne parle pas ici de ces dégagements instantanés, dont le bassin de la Belgique paraît avoir le triste privilège et contre lesquels se buttent aujourd'hui tous les efforts de la science.

[2] D'après les expériences de Galloway, en Angleterre, lorsque l'air de la mine est chargé de poussières charbonneuses, il faut moins de 1 p. 100 de grisou dans l'air pour rendre le mélange explosif.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

chés à établir théoriquement les conditions auxquelles devrait satisfaire l'explosif de sécurité; déjà plusieurs charbonnages français ont renoncé au tirage dangereux par la poudre et essayé les nouveaux explosifs dont la composition était préconisée par la Commission française.

Les commissions officielles du grisou peuvent d'ailleurs revendiquer l'honneur d'avoir répandu dans tous les pays miniers des notions saines et précises sur les moyens de combattre cet ennemi redoutable. Aucune question n'a été plus étudiée que celle de l'*aérage*, dont je vais dire quelques mots et qui a une si haute importance pour la salubrité et la sécurité des exploitations.

e. *Aérage.* — En 1869, un ingénieur belge, M. Harzé, déplorant le défaut de soin que ses compatriotes apportaient à la ventilation des mines non grisouteuses, n'hésitait pas à exprimer le désir de voir se multiplier les exploitations à grisou, si la perfection de l'aérage devait en être le prix. Jamais notre industrie minière n'a donné lieu à de telles constatations. Bien plus, c'est aux expériences et aux calculs des ingénieurs français, de MM. Combes, Murgue, etc., que l'aérage de nos mines doit ce renom universel auquel les concessionnaires d'Anzin ont si largement contribué.

Les procédés d'aérage appliqués aux travaux souterrains ne datent pas de ce siècle. Dès 1760, Spedding avait posé le principe de la subdivision du courant d'air. Avant lui, Fysen (1696) rapportait que les ouvriers chassaient à coups de bâton les gaz délétères. Sans insister sur les coutumes de ce genre, déjà mentionnées par Pline, je rappellerai que l'on a successivement eu recours à des *foyers d'aérage*, puis à des *ventilateurs*, pour produire un courant d'air artificiel. Depuis le milieu du siècle, les machines se sont propagées en Belgique et en France, restreignant de plus en plus l'usage des foyers. Le même mouvement commençait, lors de l'Exposition de 1867, à se manifester en Angleterre, où l'emploi presque exclusif des foyers avait pu se maintenir, eu égard à la grande section des puits et des galeries.

Toutes les machines aspirantes ou soufflantes peuvent en principe

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

s'appliquer à la ventilation, pourvu qu'elles soient capables de faire circuler un volume d'air assez considérable. Mais, par suite des conditions spéciales aux mines, les machines pratiquement utilisées se réduisent à un petit nombre de types. Les *ventilateurs à force centrifuge*, qui jouissent aujourd'hui d'une faveur à peu près générale, ont été sensiblement modifiés depuis leur origine, tout à la fois dans leur mode d'action sur l'air et dans les détails de leur construction. Il y a lieu de citer, comme appareils très perfectionnés, le ventilateur Guibal, qui est le plus répandu de tous et dérive en ligne directe des modèles proposés et établis par M. Combes et M. Letoret, ainsi que le ventilateur de M. Ser, qui montrait, à l'Exposition de 1889, jusqu'à quel point avait été poussée l'étude des formes rationnelles.

Parmi les autres appareils, se rangent la roue pneumatique Fabry et le tambour pneumatique Lemielle, qui partageaient en 1867 avec le ventilateur Guibal les préférences des exploitants, mais qui sont abandonnés aujourd'hui; le ventilateur Kœrting, excellent instrument de secours; etc.

Dans les mines françaises, le système de ventilation est complété par des ventilateurs de petit calibre, produisant un aérage local et complémentaire. Ces appareils auxiliaires sont souvent actionnés par des moyens mécaniques : on est ainsi prémuni contre les négligences que peut subir le service des ventilateurs à bras.

Les procédés de contrôle de la ventilation ont été systématisés. Actuellement en France, dans toutes les mines à grisou bien tenues, on fait plusieurs fois par mois le jaugeage des courants d'air sur les différents points de l'exploitation. Les résultats de ces jaugeages sont inscrits sur des plans spéciaux, dits *plans d'aérage*, qui indiquent en même temps le sens du courant, la disposition des postes, etc. L'administration française tend à rendre ces mesures obligatoires pour toutes les mines grisouteuses. On dose la quantité de grisou qui se trouve dans les retours d'air, soit avec la lampe de mineur, soit avec la lampe Picler, beaucoup plus exacte. M. Coquillon a présenté pour cet objet un appareil portatif qui permet de déterminer une proportion de 1/4 p. 100 de grisou dans l'air.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

f. *Éclairage.* — L'éclairage des ouvriers travaillant à l'intérieur de la mine se rattache par un lien assez naturel au service de la ventilation.

Dans les mines métalliques, le mode d'éclairage pour ainsi dire universellement adopté est encore l'éclairage à l'huile brûlant dans des lampes ouvertes; il y a peu de progrès à signaler sous ce rapport, le type le plus primitif de ces lampes présentant avec la lampe antique une analogie frappante. Mais les exploitations de houille ou plus exactement les mines grisouteuses n'admettent pas la lampe à feu nu, et Davy a rendu aux mineurs un inappréciable service, en lui substituant la lampe dite *de sûreté*, dont la flamme est entourée d'un réseau métallique à mailles serrées.

La lampe de Davy éclairait assez mal et n'offrait pas une sécurité absolue. Aussi des tentatives nombreuses ont-elles été faites par Upton et Roberts, Clanny, Mueseler, etc., afin de remédier au défaut de lumière et au danger des courants d'air extérieurs ou d'un échauffement excessif du tamis. Entre tous les appareils imaginés, c'est la lampe Mueseler qui, jusqu'à ces derniers temps, était passée le plus largement dans la pratique, notamment autour de Liège [1]. Depuis 1878, la lampe Marsaut est venue rivaliser avec elle; les mérites en ont été consacrés par son adoption dans tous les pays où l'exploitation demeure libre de choisir le mode d'éclairage qui lui paraît offrir le plus de garanties.

L'Exposition de 1889 attestait l'importance que l'on attache en France à rechercher une fermeture de lampe absolument hermétique; elle mettait en évidence les améliorations obtenues dans cette voie et déjà sanctionnées, au moins en partie, par une expérience suffisamment prolongée. On peut notamment considérer la rivure des lampes, la fermeture magnétique et la fermeture hydraulique comme résolvant le problème d'une manière à peu près satisfaisante.

g. *Transport des produits à l'intérieur des mines.* — Dans l'anti-

[1] L'administration belge en a rendu l'usage obligatoire dans les mines à grisou.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

quité, le transport intérieur du minerai, depuis le chantier jusqu'au jour, se faisait quelquefois au moyen d'une file d'ouvriers qui se passaient ce minerai de main en main, et pour ainsi dire morceau par morceau. Le portage à dos, le traînage sur le sol des galeries et le transport à la brouette sont déjà des procédés relativement perfectionnés et que l'on voit encore en usage aujourd'hui. Mais, dans toutes les mines un peu étendues, on a dû recourir aux chemins de fer[1], combinés avec des plans automoteurs pour racheter les différences de niveau des divers étages. Un moyen exceptionnel, spécial au cas du transport à niveau, consiste à se servir d'embarcations circulant sur des rigoles navigables : indiqué au siècle dernier par l'ingénieur Bradley et appliqué pour la première fois près de Manchester, dans les mines de Worsley, ce système n'a pu prendre beaucoup d'extension.

L'emploi des chemins de fer à l'intérieur des mines a réduit les frais de transport dans une énorme proportion et permis dès lors d'augmenter les distances, c'est-à-dire l'étendue du champ d'exploitation de la mine et sa puissance de production.

Au début les voies ferrées ont été exclusivement desservies par des hommes, ou par des chevaux lorsque la section des galeries le permettait et que les parcours étaient longs.

En même temps qu'on reconnaissait les avantages considérables des transports sur rails comparés aux transports sur le sol naturel des galeries, on constatait aussi la nécessité, au point de vue de l'effet utile, non seulement de maintenir la voie en bon état d'entretien, mais aussi d'en améliorer le tracé et le profil en long. Les rampes durent être adoucies, et, comme il n'était plus possible, avec des voies presque de niveau, d'atteindre sans développement excessif tous les chantiers d'une couche inclinée, le complément naturel des chemins de fer *sur niveau* fut l'établissement de *plans inclinés*, sur lesquels les agents ordinaires de traction devenaient insuffisants.

Souvent on utilisa l'action de la gravité pour remonter les wagons vides et descendre les wagons pleins sur des *plans automoteurs*, en tête

[1] Il y a deux siècles et demi, les mines de houille de Newcastle-sur-Tyne étaient déjà pourvues de chemins à rails en bois. Les premiers rails en fonte datent de 1770.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

desquels se trouvait le mécanisme recevant les câbles de remorque. Bourdaloue imagina, en 1845, les *plans bisautomoteurs*, qui remontent les wagons vides à un niveau supérieur à celui d'où descendent les wagons pleins.

Il peut arriver que le quartier à desservir soit en contre-bas de la recette inférieure. En pareil cas, le transport en remonte sur le plan incliné (qui prend alors le nom de *vallée*) ne saurait plus se faire qu'à l'aide d'un moteur fixe. Au lieu d'utiliser le travail de la gravité sur les wagons pleins, le mécanisme portant les câbles de remorque doit au contraire recevoir l'action d'un moteur ayant à surmonter comme résistance principale le poids de ces wagons diminué de celui des véhicules vides. Primitivement ce moteur consistait en un treuil, installé au sommet du plan et mû à bras d'hommes, ou en un manège actionné par un cheval. Puis l'accroissement de la production conduisit à remplacer les moteurs animés par des moteurs inanimés, machines hydrauliques ou machines à vapeur.

L'installation de moyens mécaniques à l'intérieur des mines pour desservir les *vallées* devait assez naturellement amener les ingénieurs à en étendre l'action aux transports *sur niveau*, lorsque les quantités à transporter étaient considérables, les distances longues et les terrains propres à donner aux voies de fer une stabilité suffisante. Une fois réalisé, l'établissement de la traction par câble à l'intérieur de la mine permit d'accroître encore l'activité de la production et de donner une nouvelle extension au champ des travaux.

C'est surtout dans les grandes mines du centre et du nord de l'Angleterre que ces *transports mécaniques par machines fixes* ont pu se généraliser, grâce à l'allure favorable des couches. Ils y étaient déjà fort développés en 1867, alors que, sur le continent, les mines de Saarbrück en offraient seules un exemple. Depuis, le développement des exploitations a conduit à les appliquer au roulage souterrain dans des conditions plus difficiles qu'en Angleterre, eu égard à l'irrégularité des couches et à la moindre section des galeries.

Il y aura bientôt un demi-siècle que l'Angleterre n'hésite plus à installer dans l'intérieur de la mine des machines à vapeur spéciales

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

actionnant, soit les *cordes-queue*, soit les *câbles* ou *chaînes sans fin*. Mais, dans les mines grisouteuses, les générateurs de vapeur ne pouvaient sans inconvénient, ni même sans danger, être établis souterrainement : en ce cas, on a pris le parti de ne maintenir au fond que le moteur et de l'alimenter par des chaudières placées au jour. Fréquemment aussi, dans le but d'éviter les vices inhérents aux longues conduites de vapeur, on a préféré mettre le moteur au jour, à portée de son générateur, et transmettre la force, par des câbles sans fin, par l'eau ou par l'air comprimé, à des récepteurs disposés dans la mine. L'emploi de l'air comprimé surtout, déjà adopté en 1867 par la Compagnie de Sars-Longchamp (Belgique) et par celle des Charbonnages belges, semble appelé à se répandre chaque jour davantage pour ce genre de transmissions.

En 1878, on pouvait constater le développement des transports mécaniques, dans certaines régions où ils étaient presque inconnus onze ans auparavant. Le système des machines fixes commençait même à ne plus suffire, et plusieurs exploitants reprenaient le problème des *transports intérieurs par locomotives*. A cet égard, l'Exposition de 1878 présentait quelques applications remarquables de l'air comprimé, dont la première remontait au percement du Saint-Gothard; elle démontrait en même temps la possibilité de faire usage des locomotives à vapeur, même dans des galeries de section relativement faible.

Depuis lors, les transports mécaniques ont réalisé peu de progrès. Les transports par machines fixes se sont surtout développés *à la surface;* la chaîne flottante et les plans automatiques ont permis de résoudre heureusement, dans les pays accidentés, la question du transport des produits d'une exploitation vers des points éloignés ou celle de la concentration des produits de plusieurs exploitations en un point unique : c'est le système journellement pratiqué dans le Lancashire et appliqué, sur le continent, aux mines de Somorrostro (Espagne).

En ce qui touche le matériel même des transports, la substitution du métal au bois et de l'acier au fer ne cesse de progresser. Dans la plupart des houillères de France et de Belgique, on emploie main-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tenant des traverses métalliques, dont les types rationnels datent déjà de trente ans environ. Le remplacement des wagonnets en bois par des wagonnets métalliques se poursuit depuis plus longtemps encore, puisque la Compagnie d'Anzin l'opérait dès 1848. Les premières berlines en acier ont été introduites en 1884 dans les houillères du Nord et du Pas-de-Calais.

Il n'est pas jusqu'aux pièces de soutènement des galeries (disons-le en passant) pour lesquelles cette tendance ne se manifeste; l'Exposition de 1889 montrait le pas franchi en France, pendant la dernière période décennale, dans la voie du remplacement des bois de mine par le fer et l'acier.

Tous ces progrès se traduisent, en fin de compte, par l'accroissement de productivité des sièges d'exploitation et par la diminution du prix de revient.

h. *Extraction des produits.* — L'évolution consistant à remplacer la force de l'homme par d'autres forces naturelles, pour l'extraction des matières exploitées, est entièrement accomplie depuis plus de vingt-cinq ans. Aujourd'hui l'extraction au moyen de treuils à bras n'est plus qu'un souvenir du passé, sauf dans les exploitations sans importance et d'un caractère en quelque sorte éphémère. L'emploi des chevaux lui-même, plus économique que celui des hommes, a dû céder la place à l'emploi plus économique encore des moteurs hydrauliques, quand les circonstances s'y prêtent, et plus souvent des moteurs à vapeur.

Ces derniers ont d'ailleurs subi de profondes transformations, et il n'y a presque plus rien de commun entre l'installation primitive, utilisée avant 1840 dans le Nord et dans la Loire pour sortir quelques centaines ou un millier d'hectolitres de houille par jour, et celles dont sont maintenant pourvues les exploitations bien outillées des mêmes régions; quoique en général la profondeur des puits ait notablement augmenté, on leur demande une production triple ou quadruple, et parfois bien davantage.

Vers 1867, les appareils d'extraction ordinairement employés sur

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les houillères, tant françaises que belges, étaient des machines à deux cylindres conjugués, à haute pression, à faible détente et sans condensation. Le système de l'attaque directe de l'arbre des bobines par la manivelle, appliqué pour la première fois en Belgique par Marcellis (1847), s'était généralisé avec l'accroissement des vitesses d'extraction. Ce genre de machines laissait à désirer à un point de vue essentiel, celui de la dépense de combustible.

Comme l'approfondissement des puits augmentait notablement les frais d'extraction des produits, l'attention se porta vers les économies de combustible, auxquelles les exploitants de charbonnages n'avaient guère songé jusque-là. On dut recourir aux appareils à détente, et, dès 1878, on n'installa plus qu'exceptionnellement des machines à pleine pression. Après avoir admis timidement la détente fixe, les ingénieurs se rendirent compte des avantages de la détente variable, pour l'équilibre des machines; en 1878, ils en étaient venus, dans plusieurs installations, à ne plus rechercher cet équilibre autrement que par la variation de la détente.

Lors de l'Exposition de 1889, les tâtonnements avaient cessé, et le type de la machine d'extraction, pour les grandes profondeurs, semblait désormais fixé : c'était la machine horizontale à deux cylindres avec détente variable par le régulateur, datant à peine de la précédente Exposition.

Mais la tendance la plus caractéristique consistait à grouper l'extraction en un nombre minimum de sièges et à accroître par suite la puissance des installations. Ainsi, à Blanzy, le puits J. Chagot concentre l'exploitation de deux sièges; il est installé pour extraire journellement 980 tonnes de charbon et descendre 500 à 580 tonnes de remblai à 334 mètres de profondeur; la concentration a marché du même pas dans les autres quartiers des mines de Blanzy, où il ne reste plus que 7 puits sur 16. A Lens, la fosse n° 7 Saint-Léonard produit 1,500 tonnes en dix heures avec deux puits jumeaux, à la profondeur de 360 mètres. La fosse La Grange, à Anzin, est outillée de manière à fournir 1,000 à 1,200 tonnes.

Un fait à noter encore est le développement considérable qu'ont

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pris l'usage des treuils à air comprimé, comme appareils d'extraction souterrains, et leur application à la remonte des remblais dans les couches qui ne donnent pas assez de pierres. La production de la vapeur au fond de la mine se heurte à de telles difficultés que l'on n'y a recours, sur le continent, que dans des conditions spéciales. Au contraire, l'air comprimé se prête à tous les usages; le système Woolf et le système compound permettent d'ailleurs de l'utiliser à détente complète.

Les causes qui amenaient la transformation des machines d'extraction ont aussi conduit à modifier les autres parties de l'outillage, les câbles, les bennes, les dispositions accessoires.

Il est manifeste que l'accroissement de la profondeur des puits donnait une importance capitale à la question du poids des câbles. Les câbles métalliques, dont la fabrication et l'emploi paraissent avoir pris naissance en Allemagne et s'être introduits en Angleterre vers 1835 ou 1840, ont sur les câbles végétaux l'avantage indiscutable de la légèreté. Malgré la tendance actuelle à adopter l'acier, comme la matière la plus légère pour une même résistance, certains ingénieurs persistent à se servir des câbles en aloès.

Les câbles ordinaires doivent avoir une force d'autant plus grande que les puits sont plus profonds. A la fois plus forts et plus longs, ils se surchargent par leur propre poids, tout en créant une irrégularité croissante dans la résistance que doit vaincre la machine. On a imaginé, pour les grandes profondeurs, des *câbles diminués*, dont la section diminue du sommet à la base : ces câbles permettent d'augmenter sensiblement la profondeur accessible dans les puits d'extraction.

Des dispositions très variées ont été mises en pratique pour prendre le minerai arrivant à l'accrochage, l'élever au jour et le déposer au bord du puits. Originairement les bennes ou cuffats n'étaient point guidés dans le puits; la vitesse moyenne d'ascension ne dépassait pas 1 mètre par seconde et descendait parfois à 0 m. 60. Un grand progrès fut réalisé, du jour où l'on prit des mesures afin de guider les bennes, d'éviter ainsi leurs dégradations et celles des parois du puits,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de prévenir en outre les dangers de rencontre, et surtout afin d'accroître la vitesse d'ascension. Le guidage, d'autant plus nécessaire que les centres d'extraction deviennent plus profonds et moins nombreux, et sont appelés à une production plus considérable, s'est fait de diverses manières : parmi les dispositifs imaginés, le plus pratique est celui qui consiste à employer des guides rigides et des cages guidées, à un ou plusieurs étages, recevant plusieurs wagons à la fois et permettant de faire arriver très rapidement au jour les produits du chantier, sans aucun transbordement.

L'importance du service de l'extraction dans les mines exige que ce service ait une marche non seulement économique, mais encore très régulière : quelques heures de chômage peuvent en effet suffire à jeter la perturbation dans les ateliers et à occasionner des pertes sensibles. Aussi les exploitants se sont-ils grandement préoccupés de tout ce qui paraissait de nature à prévenir les intermittences si fâcheuses dans la production. Différents moyens ont été proposés et employés pour rendre le mécanicien entièrement maître de sa machine, pour lui permettre à tout instant d'en régler la vitesse et de l'arrêter, pour régulariser le travail de cette machine, pour maintenir l'enroulement régulier des câbles sur les bobines ou les tambours. Il convient de signaler les appareils connus sous le nom d'*évite-molettes* et dont le but est d'empêcher les cages de monter jusqu'aux poulies.

Des accidents très graves peuvent résulter de la rupture du câble, notamment dans le cas où la cage porte des hommes. On a cherché à s'y soustraire ou à en atténuer les effets au moyen de *parachutes*. Ces appareils, dont l'usage commençait à se propager en Angleterre, lors de l'Exposition universelle de 1851 à Londres, et dont on se servait à la même époque dans les mines de Decize, sont aujourd'hui fort répandus et se rattachent à des types très variés : ils agissent sur les faces des guides, soit par friction, soit par pénétration.

Le matériel moderne d'extraction est le plus souvent construit en vue des grandes profondeurs. Avec cette tendance, l'installation des puits devait nécessairement subir la même transformation que le matériel fixe et le matériel roulant des transports souterrains. Depuis

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

une vingtaine d'années environ, le métal se substitue, dans la construction des châssis de molettes, au bois dont les avantages au point de vue économique diminuent au fur et à mesure que l'extraction devient plus active. L'emploi de l'acier pour les cages est, sur le continent, un progrès qui date de 1867 et n'a fait que s'affirmer davantage. Enfin les guidages en acier sont presque exclusivement adoptés dans toutes les installations récentes.

Ces changements du matériel créent des conditions nouvelles aux dispositifs ayant pour objet la sûreté de la translation des cages. A ce point de vue, les galeries du Champ de Mars montraient toute une série d'inventions d'un réel intérêt.

Du reste, l'un des traits caractéristiques de l'Exposition universelle de 1889 était l'assaut d'ingéniosité et de dispositions originales que se livrent les exploitants, pour tout ce qui touche aux questions de sécurité. Jamais ces questions n'ont préoccupé davantage les administrateurs et les ingénieurs. A mesure que les profondeurs et les vitesses s'accroissent, les mouvements des ouvriers dans les puits d'extraction sont sujets à des périls plus redoutables. La lutte contre ces dangers n'est pas moins accentuée de nos jours que la lutte contre le grisou, et l'on doit constater que les résultats en sont plus satisfaisants : la descente dans les puits constitue peut-être la branche de l'exploitation minière dont on a le plus amélioré les conditions de sécurité.

Les évite-molettes, par exemple, ont été récemment perfectionnés. Aujourd'hui le problème est, non plus seulement d'éviter que les cages ne soient élevées aux poulies, mais d'empêcher qu'elles ne dépassent une certaine vitesse en arrivant au jour; les noms de MM. Reumeaux, Villiers, Wéry, resteront attachés à la solution de ce problème.

Dans le même ordre d'idées, on peut encore mentionner les améliorations apportées aux signaux, l'enclenchement de ces signaux et des taquets, la signalisation électrique.

La plupart des compagnies françaises ont fourni à l'Exposition la preuve irrécusable des résultats obtenus par leurs efforts : de nombreux diagrammes montraient que la sécurité marche actuellement de pair avec l'augmentation du rendement de la main-d'œuvre.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

i. *Circulation des ouvriers.* — L'approfondissement des puits a eu pour conséquence l'abandon des *échelles* qui servaient à la descente et à la montée des ouvriers : en effet le temps et la force dépensés pendant ce pénible trajet réduisaient d'autant le travail utile susceptible d'être demandé au mineur, dont la santé s'altérait d'ailleurs rapidement par suite des excès d'effort musculaire. Au delà d'une certaine profondeur, l'emploi de moyens mécaniques s'impose aussi impérieusement pour le transport des hommes que pour l'extraction.

Il n'était pas besoin d'être grand clerc pour penser à faire usage de la machine d'extraction elle-même, sans établir aucun appareil spécial. Néanmoins ce système, en apparence si simple, rencontra de vives résistances; longtemps encore après la généralisation des bennes et des cuffats, le privilège de descendre ou de monter par le câble d'extraction demeurait ordinairement réservé aux maîtres mineurs, aux chefs de poste et à quelques ouvriers spéciaux.

Enfin la raison et l'humanité eurent le dessus. Ce qui n'était qu'un privilège devint le droit commun. Les ouvriers furent tous autorisés, soit à profiter des bennes, soit comme dans plusieurs districts miniers, notamment en Angleterre, à descendre et à monter accrochés au câble par des chaînes, en forme de grappes humaines.

Le système des cages guidées est venu procurer aux ouvriers toutes les facilités voulues, tous les avantages désirables de rapidité et de sécurité. Si le perfectionnement des appareils d'extraction a puissamment aidé l'industrie minière, en augmentant la productivité des exploitations, il ne lui a pas été moins utile en permettant d'introduire sans fatigue dans la mine le personnel nécessaire à un travail plus intense et de réduire dans une très forte proportion le nombre des accidents.

Bien que la translation des ouvriers par le câble soit maintenant la règle, cette pratique comporte des exceptions. La descente et la remonte des ouvriers à la fin de chaque poste sont des opérations assez longues; leur durée croît nécessairement avec l'importance numérique du personnel, comme avec la profondeur du puits. D'un autre côté, l'installation des puissants moyens d'extraction, qui se prêtent

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à ce mode de transport, ne serait point rationnelle dans les mines à production limitée; elle devient même impossible, quand l'extraction doit se faire par des puits inclinés : tel est assez fréquemment le cas des filons métalliques, dont l'exploitation se poursuit cependant à de grandes profondeurs et qui, à ce titre, appellent des moyens mécaniques pour la circulation des mineurs. On a imaginé, afin d'y pourvoir, les *échelles mécaniques*, désignées en Allemagne sous le nom de *Fahrkunste* et disposées de manière à placer l'homme dans les mêmes conditions que s'il cheminait sur un plan horizontal. Le premier appareil de ce genre fut installé au Harz, vers 1830, sous l'inspiration de M. Albert, à qui est due aussi l'introduction des câbles en fil de fer. Quelques années plus tard, des échelles analogues étaient établies dans les mines de Cornouailles; le système s'est ensuite étendu à d'autres districts métallifères et à quelques bassins houillers.

La puissance des *Fahrkunste* a été augmentée; il en est de même de la sécurité qu'elles offrent aux ouvriers. En France et en Belgique, les appareils modifiés dans ce but sont habituellement dénommés *warocquères*, parce que le mérite de leur invention appartient à M. Warocqué (mines de Mariemont, 1845). Grâce aux heureuses dispositions dont ces warocquères ont été dotées dès leur origine, les accidents sont des plus rares en Belgique; la statistique allemande est moins favorable aux *Fahrkunste*, assez répandues dans les mines du Harz.

j. *Épuisements.* — Les appareils d'épuisement excluent, plus encore peut-être que les appareils d'extraction, l'emploi des moteurs animés; car le poids de l'eau à extraire journellement est dans beaucoup de cas égal, sinon supérieur à celui du minerai.

A l'origine, les moteurs inanimés dont on se servait pour l'asséchement des mines consistaient surtout en roues hydrauliques. Le mouvement de ces roues se transmettait, au moyen de bielles, de tirants et de varlets, à la maîtresse tige des pompes placées sur le puits d'exhaure; tantôt la maîtresse tige était unique, tantôt elle

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

se décomposait en deux tiges équilibrées, suivant la disposition longtemps classique en Angleterre et en Allemagne. Dans certains cas, les exploitants employaient, au lieu de roues hydrauliques, des machines à colonne d'eau, de préférence à simple effet.

Plus tard sont apparues les machines à vapeur, à simple effet, fonctionnant dans les mêmes conditions que les machines analogues à colonne d'eau. C'est à ce type que se rapportent les machines dites *de Cornouailles*, renommées pour leur faible consommation de combustible et restées pendant longtemps, de ce fait, en possession d'une suprématie presque absolue.

Tandis que les machines à balancier étaient préférées en Angleterre, on employait sur le continent des machines à traction directe et sans détente, auxquelles leur simplicité et l'économie de leur installation avaient assuré dès 1837 une vogue persistante. Pour les épuisements considérables, la dépense de combustible, avec ces dernières machines, pesait lourdement sur l'exploitation ; on reconnut la nécessité de réduire la consommation par l'usage de la détente, appliquée depuis de longues années aux machines de Cornouailles. Le système Woolf fut adapté, pour la première fois, en 1859, aux machines à traction directe. En 1864, Erhardt commença à construire en Westphalie des moteurs à double effet.

Ces perfectionnements marquèrent la transition vers un progrès plus important, l'emploi d'un moteur rotatif pour les grands épuisements. Le succès de ce moteur s'affirma à partir de 1867, en raison des vitesses jusqu'alors inusitées et des détentes prononcées, qu'il permettait d'obtenir sans exagération des masses.

L'Exposition de 1878 fut le triomphe des machines rotatives à double effet. Dans la machine Guinotte, qui constituait le type le plus parfait, on avait substitué un moteur à cylindre unique au moteur Woolf, afin d'accroître les vitesses moyennes.

Il y a longtemps déjà qu'est née l'idée d'installer souterrainement les machines : témoin un brevet belge de 1830, décrivant une pompe souterraine sans volant, analogue aux pompes dites *américaines*, qui se sont répandues en Europe après l'Exposition de 1867. En 1878,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'un des types les plus usuels de pompe sans volant était celui de MM. Tangye.

Depuis 1878, les pompes souterraines à volant ont pris une place de plus en plus large dans le matériel des mines. Utilisées dès longtemps en Angleterre pour des profondeurs moyennes et de petites quantités d'eau, elles se sont aujourd'hui fortement implantées sur le continent et remplacent les moteurs de surface, même pour les grandes profondeurs et les épuisements à fort débit. L'Exposition de 1889 accusait bien cette tendance à supprimer les machines à maîtresse tige, pour leur substituer des machines souterraines; réalisant une pensée fort heureuse, la Compagnie d'Anzin mettait en parallèle au Champ de Mars la machine de Newcomen employée en 1789 dans ses mines et la machine compound souterraine, qu'elle considère comme la caractéristique du progrès en 1889. Il existe chez nos voisins de Belgique des machines souterraines qui refoulent jusqu'à 576 mètres (la Louvière).

k. *Préparation et agglomération des charbons.* — La plupart des charbonnages s'attachent aujourd'hui à rendre leurs produits plus propres à la vente, en les présentant au consommateur dans un état, sous des formes et avec des teneurs appropriés aux divers usages spéciaux du charbon.

D'ailleurs le classement, le triage, le nettoyage, le lavage présentent de grands avantages pour les combustibles minéraux consommés par la métallurgie. Ces opérations assurent la production régulière et économique des hautes températures; elles évitent l'influence nuisible de certains éléments au contact des métaux en élaboration. Ainsi s'explique la généralisation rapide du lavage des houilles, qui, au début de la seconde moitié de ce siècle, n'était encore usité que dans la fabrication du coke destiné aux chemins de fer.

Le *triage* est opéré sur des grilles fixes, des tables à secousses ou des toiles sans fin. En vue d'augmenter le débit des triages, on adopte assez généralement la grille Briart, exposée à Vienne (1873) et formée de deux systèmes de barreaux, dont l'un mobile.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Une disposition, qui a été appliquée pour la première fois en 1870-1871 au Levant du Flénu et qui s'est répandue depuis en Belgique, consiste à installer des ateliers centraux de triage, recevant les combustibles extraits de tous les puits d'un même charbonnage. Elle est éminemment favorable à l'uniformité des produits et permet de réaliser le nettoyage dans les meilleures conditions.

La France a devancé l'Angleterre dans la voie de l'épuration des combustibles minéraux par le lavage. Ce fait s'explique, soit par la qualité inférieure des houilles brutes que livraient nos mines, soit par les tendances des consommateurs français qui appréciaient mieux les avantages de la pureté du charbon. Les premiers essais de lavage remontent à une cinquantaine d'années et ont eu lieu à Saint-Étienne ; dès 1867, l'opération était devenue courante pour le charbon destiné à la fabrication du coke et même pour les menus consommés en nature.

Étudiés dans leurs détails, les appareils de lavage présentent beaucoup de variété. Cependant le plus grand nombre ont un principe commun, celui du crible à piston, appareil bien connu, dans lequel la matière en traitement, sous l'influence des secousses qui lui sont imprimées, se dépose en couches superposées par ordre de densité. L'Exposition de 1878 montrait deux appareils fondés sur un principe différent, le lavoir Marsaut et le laveur-classificateur Évrard, agissant d'une manière prolongée et discontinue sur des masses considérables. En 1889, apparaissait l'épurateur à sec de M. Sottiaux.

Quant à l'*agglomération*, elle est, comme le lavage, une industrie d'origine essentiellement française. Ses débuts se sont accomplis dans le bassin de Saint-Étienne ; le premier brevet date de 1833.

La fabrication des agglomérés de menu, créée pour les besoins des chemins de fer en même temps que pour ceux de la navigation à vapeur, a pris une assez grande importance en France et en Belgique. Peu de changements se sont produits dans les méthodes générales de cette fabrication, où domine toujours l'emploi du brai gras et du brai sec.

De nombreuses machines à fabriquer les agglomérés ont été suc-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cessivement imaginées, après que Révollier, Biétrix et C^ie^ eurent construit leur premier type (1842), dont le modèle figura à l'Exposition de 1867. En 1878, MM. Biétrix et C^ie^ exposaient un appareil très remarqué. Depuis, les machines à comprimer les briquettes n'ont point réalisé de progrès saillants.

1. *Préparation mécanique des minerais.* — La préparation mécanique des minerais comprend tout un ensemble d'opérations, souvent fort complexes, qu'ils doivent subir depuis leur sortie de la mine jusqu'à l'instant où une épuration convenable permet de les livrer à la métallurgie. Elle emploie une extrême variété d'appareils, qu'il ne saurait être question de décrire ni même d'énumérer ici.

Parmi les manipulations successives dont se compose la préparation mécanique des minerais, on distingue en général les concassages et triages, qui s'exécutaient autrefois à la main ; puis le travail du crible à secousses, applicable aux matières grenues ; enfin des lavages sur tables, spéciaux aux matières ténues, depuis les graviers trop menus pour le crible à secousses jusqu'aux schlamms les plus fins.

Le matériel de préparation était resté fort primitif avant le milieu de ce siècle. A cette époque, la nécessité de réduire la main-d'œuvre s'est fait sentir avec plus de force et a donné naissance aux progrès, qui ont transformé les anciens ateliers et qui s'accusaient si nettement lors de l'Exposition de 1867.

On a dû chercher un juste milieu entre le système qui aspire au minimum de déchet, moyennant un travail coûteux, et celui qui vise surtout à réduire la main-d'œuvre, en opérant d'une manière plus rapide et plus sommaire. Dans cet ordre d'idées, les industriels s'efforcent de généraliser l'usage des moyens mécaniques, de construire des appareils simples et à grande production, de les rendre automatiques dans leur alimentation en les étageant les uns au-dessus des autres. Eu égard à cette solidarité établie entre les divers appareils, il a fallu rendre leur marche aussi régulière que possible, modifier leur installation jusqu'alors fort grossière, y introduire les matériaux et les procédés d'une bonne construction mécanique.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Mais, après ces perfectionnements et la transformation complète qui en est résultée pour l'ancien outillage, il semble que la préparation mécanique des minerais ait réalisé peu de progrès. Cependant les méthodes actuelles laissent encore à désirer et demeurent quelque peu barbares, si l'on en juge par la perte de matières utiles. Pas plus que sa devancière de 1878, l'Exposition de 1889 n'a révélé d'innovations marquantes.

m. *Statistique des accidents.* — M. Habets donne, dans son rapport sur le matériel de l'industrie minière, une statistique comparative des accidents de charbonnages, à diverses époques et dans différents pays. Il me paraît utile de résumer cette statistique, en modifiant quelques chiffres, pour les rendre conformes aux documents que possède l'administration française des mines, et en complétant les indications relatives aux charbonnages par des indications sur l'ensemble des exploitations minières.

PÉRIODES.	CHARBONNAGES.								MINES DE TOUTE NATURE.		
	TUÉS PAR 10,000 OUVRIERS. (Moyennes annuelles.)				TUÉS PAR MILLION DE TONNES extraites.				TUÉS PAR 10,000 OUVRIERS. (Moyennes annuelles.)		
	France.	Grande-Bretagne.	Belgique.	Prusse.	France.	Grande-Bretagne.	Belgique.	Prusse.	France.	Grande-Bretagne.	Prusse.
1831-1840.....	//	//	31.07	//	//	//	33.88	//	//	//	//
1841-1850.....	//	//	29.74	//	//	//	26.44	//	//	//	//
1851-1860.....	34.04	40.72	29.32	20.54	24.74	16.29	24.09	14.55	31.65	//	//
1861-1870.....	29.71	33.29	26.08	28.64	19.74	10.73	18.90	13.91	28.09	//	24.58
1871-1880.....	22.19	23.54	24.50	28.47	13.72	8.42	16.82	12.96	21.75	22.91	24.67
1881-1888.....	15.78	19.49	21.37	31.42	8.12	6.18	12.32	10.89	15.68	19.19	25.16

3. Métallurgie. — a. *Procédés de la sidérurgie.* — Les expositions sont ordinairement très pauvres, en ce qui concerne l'outillage et les procédés de la métallurgie. Par sa nature même, le matériel métallurgique se prête mal à ces exhibitions, où l'on ne saurait réaliser sous les yeux du public des opérations exigeant les plus hautes températures, les machines les plus puissantes et souvent un per-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sonnel considérable. Les progrès récents ne se manifestent guère que par les produits, par les notices qui les accompagnent, par les tableaux d'analyses chimiques, par le compte rendu des essais de résistance. Pour les apprécier complètement, il faut sortir des galeries, franchir le seuil des usines, se résoudre à un tour de France et même à un tour du monde. C'est ce voyage que nous allons entreprendre par les voies les plus rapides.

De toutes les branches de la métallurgie, il n'en est pas de plus importante que celle du fer. A elle seule la *sidérurgie* montre bien les immenses progrès réalisés, au point de vue des applications industrielles de la chimie, comme au point de vue de la hardiesse dans les moyens d'exécution et de la puissance des installations. Les résultats acquis sont plus frappants encore, si l'on considère les abaissements de prix dont les progrès techniques ont été la cause principale durant ces dernières années.

Dans le procédé primitif, mis en œuvre depuis les temps préhistoriques et qui naguère était encore appliqué sous le nom de *méthode catalane*, le *fer* et l'*acier* s'obtenaient par réduction directe du minerai dans un *bas-foyer*, en présence d'un excès de charbon. Ce creuset simple, avec ses tuyères plongeantes destinées à y diriger un courant d'air forcé, servit dès l'antiquité au traitement du cuivre, du plomb, de l'argent, de même qu'à celui du fer; on le retrouve aujourd'hui dans les montagnes de la Haute-Asie et chez les nègres du continent africain. L'opération nécessitait un travail manuel des plus pénibles; elle donnait une loupe de fer spongieux, que l'ouvrier devait marteler et réchauffer plusieurs fois, pour la transformer en une barre propre à la forge. En brûlant un poids de combustible triple de celui du métal extrait, on obtenait finalement un bloc de 150 kilogrammes au maximum.

A partir du XVI^e^ siècle, apparut une méthode plus facile, ne demandant pas des minerais si riches et si purs. Cette méthode consistait à réduire le minerai et à carburer assez fortement le métal, dans la même opération, pour obtenir de la *fonte*, puis à décarburer partiellement la fonte au moyen d'un *feu d'affinerie* (feu *comtois* ou feu

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

allemand), qui servait également au corroyage ultérieur des massiaux. L'appareil à produire la fonte était le *haut fourneau*, cet instrument merveilleux et incomparable, auquel l'industrie du fer est redevable de sa puissance actuelle. Au début, la hauteur du fourneau ne dépassait guère 7 à 8 mètres; il marchait à feu nu; le vent lui venait de grands soufflets analogues au soufflet de forge et généralement mus par une roue hydraulique. On parvenait à obtenir de très bons fers, par ces deux fusions au haut fourneau et au bas foyer.

Vers 1789, nos hauts fourneaux les plus considérables donnaient, par vingt-quatre heures, 2,500 livres de fonte environ et brûlaient un poids double de charbon de bois, seul combustible alors employé, du moins sur le continent.

En Angleterre, où la consommation des bois de haute futaie pour la marine présentait une importance exceptionnelle, des mesures législatives avaient été prises dès le règne d'Élisabeth (1580), afin d'empêcher le déboisement du littoral par les maîtres de forge. A la suite de ces mesures, les métallurgistes anglais cherchèrent à brûler le coke dans les hauts fourneaux et à substituer la houille au bois dans l'affinage. Le premier problème fut résolu au cours du XVIII^e^ siècle. Quant au second, il était difficile à résoudre avec le bas-foyer; l'ingénieur Cort trouva la solution en 1784, par l'application du *four à réverbère*, depuis longtemps utilisé pour la coupellation du plomb et pour l'épuration du cuivre brut.

Ce nouveau procédé, dit *anglais*, d'affinage au reverbère ou *puddlage* ne se répandit chez nous qu'avec une extrême lenteur, malgré les tentatives de quelques forges de la Nièvre dès 1808. La France se montrait de même réfractaire à la fabrication des fontes au coke, bien que cette industrie eût déjà pris un large développement en Angleterre et s'y pratiquât à l'aide de hauts fourneaux d'une grande puissance. En 1820, notre production annuelle pouvait être évaluée à 112,000 tonnes de fonte, presque exclusivement au bois, et à 74,000 tonnes de fer, également au bois.

Le mode d'affinage au réverbère ne donna du reste des résultats tout à fait satisfaisants que vers 1830 ou 1835, quand les soles en

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sable battu des anciens fours eurent été remplacées par des soles en fonte recouvertes d'oxyde de fer ou de scories basiques.

Une autre innovation marqua cette époque : je veux parler du *soufflage à l'air chaud* pour les hauts fourneaux dont la hauteur s'était accrue. Cette innovation permettait de fondre des matières plus réfractaires et de réaliser en même temps une économie importante sur la consommation de combustible; les calories apportées par le vent venaient en déduction de celles dont la production à l'intérieur du fourneau était nécessaire aux réactions. L'économie de combustible eût perdu beaucoup de sa valeur, s'il avait fallu brûler du charbon pour le chauffage de l'air : on y utilisa bientôt les gaz perdus sortant du gueulard. Les premiers appareils à air chaud datent de 1828 et sont dus à J. Neilson; ils ont servi de point de départ aux appareils connus sous le nom des usines par lesquelles débuta leur application : appareil Calder, appareil Wasseralfingen, etc.

En 1846, notre production s'était élevée à 522,000 tonnes de fonte et 360,000 tonnes de fer : ces deux chiffres ne comprenaient plus respectivement que 283,000 et 106,000 tonnes au bois. Nous n'importions que très peu de fer forgé.

La substitution progressive de la houille au bois continua à s'accentuer. En 1867, cette transformation, l'un des faits saillants dans l'histoire de la métallurgie française, pouvait être considérée comme presque entièrement accomplie.

On est assez porté aujourd'hui à s'étonner de ce que nos industriels n'aient pas renoncé plus promptement à leurs errements antérieurs, suivi plus virilement l'exemple de l'Angleterre. Rien de plus naturel cependant. Ils n'avaient ni l'active production de la Grande-Bretagne, ni les mêmes ressources en combustible minéral, ni les mêmes facilités de transport; le bois ne leur faisait point encore défaut. En ce qui concerne spécialement la fonte, il est certain que la fusion au bois était restée longtemps pour eux le seul moyen pratique d'assurer la bonne qualité du produit. Théoriquement le résultat aurait pu

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sans doute être atteint, même avec le coke, par un choix convenable des matières premières; mais, je le répète, les moyens limités de communication ne permettaient pas d'aller chercher au loin des minerais spéciaux propres à modifier, à améliorer d'une façon souvent radicale les minerais du pays. Réduits sous ce rapport aux ressources locales, les fabricants devaient demander à des fontes au bois, employées seules ou en mélange avec des fontes au coke, l'excellence de leurs fers et de leurs aciers. Ajoutons qu'alors les ingénieurs les plus expérimentés ne connaissaient pas l'influence exacte des divers éléments de la fonte sur la marche et le résultat de l'affinage, qu'ils ignoraient l'action épurante exercée par certains de ces éléments pendant la marche même du haut fourneau. Seules, une étude attentive et une expérience prolongée ont pu les fixer sur la meilleure composition de fonte pour chaque sorte d'affinage, les convaincre que souvent les fontes au coke lavé, obtenues à l'aide de dosages rationnels, remplaçaient sans inconvénient les fontes au bois, non seulement pour l'affinage, mais aussi pour le moulage.

Indépendamment de cette révolution dans les méthodes et les procédés, l'Exposition de 1867 témoignait d'un accroissement énorme dans la production moyenne journalière des hauts fourneaux : les chiffres de 40 à 45 tonnes par jour en fonte d'affinage et de 30 à 35 tonnes en moulages n'étaient pas rares, pour les usines bien montées de France, de Belgique et d'Allemagne; en Angleterre, certains fourneaux avaient un rendement très supérieur, grâce à la richesse des minerais.

L'augmentation ainsi constatée tenait en grande partie aux dimensions des fourneaux, ainsi qu'à la puissance des appareils de chauffage et de soufflage du vent. Une série de transformations avaient eu pour effet de remplacer les anciens soufflets en cuir ou les caisses mobiles garnies de liteaux par des machines à double effet, pourvues de pistons et de cylindres en fonte; pour la commande du piston soufflant, l'action directe du piston à vapeur s'était substituée, vers 1845 ou 1850, à l'action indirecte des machines à balancier d'abord en usage sur le continent, suivant le type longtemps adopté en Angle-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

terre; les grandes souffleries verticales du Creusot et de Seraing mettaient en évidence l'étendue des progrès réalisés à cet égard. Limitée originairement à 160 degrés, la température du vent avait été progressivement élevée à 350 degrés, vers 1864, puis à 400 et 450 degrés, vers 1867, par un agrandissement graduel de la surface de chauffe.

En même temps, apparaissait dans les usines métallurgiques une nouvelle classe d'appareils de chauffage des gaz, fondée sur le principe Siemens de la *régénération de la chaleur*. Ce principe consistait à faire circuler tour à tour et en sens inverse, à travers des carneaux sinueux en terre réfractaire, d'une part les gaz brûlés, qui cédaient leur chaleur aux carneaux avant de se rendre dans la cheminée, d'autre part le gaz ou l'air à chauffer, qui reprenait cette chaleur pour aller la porter dans les fours d'élaboration. L'inventeur avait résolu tout à la fois la question de gazéification des combustibles par les moyens les plus simples et les moins coûteux, et le problème de l'obtention des plus hautes températures sans complication des appareils. Appliqué vers 1855 aux réverbères par les frères Siemens, ce mode de chauffage fut étendu au vent des hauts fourneaux par M. Cowper (1858) et par M. Whitwell (1865) : les dispositions ainsi créées et successivement perfectionnées ont été en quelque sorte l'âme des progrès de la fonte; elles ont permis de pousser le vent à des températures antérieurement inabordables, d'accroître énormément la production, de réaliser d'importantes économies sur le combustible, de faire plus facilement les fontes spéciales que réclame aujourd'hui l'industrie des aciers.

Le jury de 1867 enregistrait aussi des perfectionnements dans l'industrie des *fontes moulées*. En France, cette industrie ne profitait pas seulement des améliorations de la matière première, c'est-à-dire de la fonte brute; elle avait en outre de meilleurs procédés de moulage : pour les produits courants, elle appliquait largement les méthodes expéditives de fabrication mécanique des moules, qui lui étaient venues d'Écosse.

Mais ce que l'Exposition de 1867 offrait de plus merveilleux, c'était

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

le changement survenu dans les procédés d'affinage de la fonte pour fer et pour acier. L'Angleterre, après l'invention de Cort, avait, depuis 1835, introduit dans la pratique le four *bouillant* qui permettait de puddler sans mazéage préalable et qui fit faire de grands progrès au nouveau mode d'affinage, surtout au point de vue de la qualité des fers. Grâce à un triage sévère des produits, à une surveillance minutieuse des opérations, les fers de Lowmoor arrivaient à rivaliser avec les fers au bois du continent. Calvert et Johnson avaient inauguré, en 1856, les recherches chimiques sur le puddlage et ouvert une voie qui a conduit depuis à de si beaux résultats. De leur côté, les maîtres de forges de la Styrie (1835), puis ceux de la Westphalie (1845), favorisés par la qualité exceptionnelle de leurs minerais, aboutissaient à la fabrication pratique de l'acier puddlé dont l'apparition eut lieu vers l'époque de la première Exposition universelle. Dès l'Exposition de 1855, on put se rendre compte du pas franchi dans la production et l'emploi des aciers naturels à la houille. C'est aussi à cette exposition que les visiteurs virent pour la première fois l'acier *fondu* par masses jusqu'alors inconnues et appliqué à des ouvrages, pour lesquels il remplaçait la fonte moulée : il y avait là un résultat considérable, que les fours Siemens allaient développer, en permettant de fondre des quantités importantes d'acier à l'aide de combustibles inférieurs et avec une économie notable sur les anciens procédés de fusion à la houille et au coke dans les fours à creusets.

De tous ces efforts devait sortir une transformation plus radicale de l'affinage des fontes. En 1856, sir Henry *Bessemer* proposa un moyen de convertir directement la fonte en acier fondu. Ce moyen consistait à faire passer au travers de la masse en fusion, dans une grande cornue, des jets d'air fortement comprimé : l'air accomplissait, à lui seul, l'oxydation, la chauffe et le brassage de la matière métallique. La brillante collection de produits exposée par Bessemer à Londres, en 1862, montra qu'à cette date le procédé était industriel : on l'avait déjà expérimenté avec succès en Suède et en Allemagne; la Belgique et la France commençaient à l'appliquer.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'Exposition de 1867 fournit la preuve du rapide essor qu'avait pris le procédé Bessemer. Toutefois la métallurgie n'avait encore obtenu au convertisseur que des aciers à haute dose de carbone, et cela avec des fontes provenant de minerais de choix. Le rapporteur du jury faisait remarquer que, pour les aciers fins, le procédé Bessemer ne donnait qu'un demi-produit, exigeant des élaborations nouvelles (seconde fusion au creuset, martelages, etc.), sans lesquelles il n'aurait eu ni la pureté ni la qualité voulue. M. Lan constatait, de plus, l'insuccès des tentatives entreprises pour obtenir régulièrement du fer fondu, pour s'arrêter exactement au point requis de la conversion, et cela quelle que fût la nature de la fonte. Il en concluait que le bas-foyer ou mieux le four à puddler restait l'appareil le plus convenable pour la préparation du fer nerveux, capable de grands allongements. Ses conclusions étaient les mêmes, relativement aux fers communs, la cornue Bessemer n'ayant encore réussi nulle part avec les fontes médiocres au coke.

Si l'on ne considérait pas le procédé Bessemer comme susceptible de détrôner complètement le puddlage, on n'espérait non plus rien de semblable d'un procédé *Siemens-Martin*, qui faisait alors sa première apparition. Depuis longtemps et à diverses reprises, la métallurgie avait essayé de produire de l'acier ou du fer fondu au réverbère ordinaire sans creuset; mais il était difficile d'y réaliser la température nécessaire, et ce mode d'affinage ne pouvait devenir pratique qu'après l'invention des fours à gaz. C'est dans un four Siemens que M. P. Martin, de Sireuil, parvint en 1865 à transformer directement la fonte en un produit fondu, véritable acier ou fer doux, par un procédé analogue à l'affinage du cuivre brut. Tantôt il dissolvait du fer doux dans la fonte pure, suivant la méthode par réaction que Réaumur avait indiquée dès 1722, mais qui était restée sans application; tantôt il remplaçait le fer doux par l'oxyde de fer, c'est-à-dire par du minerai riche et pur.

La conviction que le puddlage était toujours appelé à conserver sa place à côté des nouveaux procédés se traduisait par des tentatives ayant pour but d'économiser la main-d'œuvre dans les fours à puddler.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le brassage (*puddling*) constitue en effet l'une des opérations qui épuisent le plus les forces de l'homme et qui comporte la rémunération la plus élevée : on devait donc chercher à rendre cette opération mécanique. Tel fut l'objet des agitateurs automatiques, comme ceux de M. Lemut (1862), et des méthodes consistant à faire mouvoir le four lui-même ou du moins la sole (fours rotatifs, oscillants, à sole tournante). En 1867, aucun de ces dispositifs n'assurait encore tout ensemble une perfection suffisante de l'affinage et une économie sensible des frais de façon.

J'ai dit précédemment les avantages inappréciables des fours Siemens à combustible gazéifié, au point de vue de l'économie du charbon : il me reste, pour clore cette revue de la situation en 1867, à signaler une application intéressante du principe Siemens, le four suédois à gaz de sciure de bois, imaginé par Lundin.

Pendant la période de 1867 à 1878, on vit les deux procédés Bessemer et Martin se développer parallèlement et parfois se combiner. Dans les aciéries Bessemer, les études étaient partout dirigées vers l'économie du combustible; cette économie était surtout nécessaire en Suède, où les usines sidérurgiques subissaient une crise redoutable due à la concurrence de l'acier fondu et à son emploi de plus en plus général pour de nombreux usages, antérieurement réservés aux excellents fers de ce pays. Quant à l'acier Martin-Siemens, il commençait à partager avec l'acier Bessemer l'alimentation du monde entier, pour les aciers de grande consommation; après avoir fonctionné au début avec 1,200 à 1,500 kilogrammes de matières, sans pouvoir fournir plus de deux opérations par vingt-quatre heures et en consommant 900 kilogrammes de combustible par tonne de lingots, les fours Martin-Siemens pouvaient, en 1878, recevoir des charges de 5,500 kilogrammes, terminer chaque opération en sept à huit heures, produire ainsi 18 tonnes en vingt-quatre heures, ne consommer que 400 kilogrammes de charbon aux gazogènes par tonne de lingots. Un autre progrès avait été l'application du four Pernot à sole tournante dans la fabrication de l'acier Martin, de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

manière à faciliter les réparations tout en diminuant la dépense de combustible.

Parmi les divers avantages du four Martin-Siemens, l'un des plus essentiels était de permettre aisément le mélange des fers et des fontes à divers dosages de matières étrangères. Ce fut la source des remarquables études poursuivies par la Société de Terre-Noire sur les aciers à doses variables de carbone, de manganèse, de phosphore, et sur les aciers sans soufflures obtenus par l'addition des alliages fer-manganèse-silicium. Représentées en 1878 au moyen d'une série d'échantillons et d'analyses, ces études ouvraient à la métallurgie des aperçus nouveaux.

Le *procédé basique de déphosphoration des fontes au convertisseur Bessemer,* qui a illustré les deux noms de MM. Thomas et Gilchrist et s'est brillamment affirmé à l'Exposition de 1889, date précisément de 1878. Reprenant les idées théoriques émises en 1869 par M. Émile Muller et en 1875 par M. Gruner, MM. Thomas et Gilchrist introduisirent les premiers dans la pratique ce mode de traitement des fontes phosphoreuses, origine d'une véritable révolution industrielle. Comme l'indique M. Gillon, rapporteur du jury de 1889, trois faits caractérisent la méthode Thomas-Gilchrist : le garnissage du convertisseur en dolomie frittée, pour résister à la désagrégation et à l'attaque de la scorie basique; une forte addition de chaux, pour assurer la basicité de la scorie; le sursoufflage au delà du départ du carbone, pour éliminer le phosphore de la fonte. Grâce au procédé Bessemer basique, on peut, non seulement fabriquer des aciers avec des fontes antérieurement réputées impropres à cet usage, mais aussi produire des aciers doux, extra-doux et même soudables, qui, dans des cas nombreux, remplacent avantageusement le fer puddlé. Le succès a été si rapide que, dès 1888, on n'évaluait pas à moins de 2 millions de tonnes la masse d'acier préparée pendant l'année par la méthode Thomas et Gilchrist; depuis 1879, la production avait atteint 8 millions et demi de tonnes. En se reportant à l'époque encore récente où les fontes à acier exigeaient des minerais de choix, en se rappelant les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

prix élevés auxquels se vendaient les produits, il est facile d'apprécier la haute valeur d'une invention qui permet de se servir des minerais les moins estimés et les plus répandus, qui nivelle les prix du fer et de l'acier. Les chiffres cités plus haut disent éloquemment l'étendue des services qu'elle a rendus à l'industrie.

Dans plusieurs pays, la fabrication de l'acier s'est déplacée : elle est passée des régions de minerais purs aux régions de minerais communs. Cela a été un coup de fortune pour le bassin minier de Meurthe-et-Moselle, notamment pour Longwy et Jœuf.

Notons encore à l'actif du procédé Thomas que le phosphore enlevé au métal se retrouve allié aux scories sous forme d'acide phosphorique, que ces scories se vendent facilement comme engrais et qu'il y a dès lors un double service rendu aux industriels et aux cultivateurs.

A côté de cette innovation capitale, il en est une autre, moins importante, mais qui mérite cependant d'être signalée. On sait que le procédé Bessemer exige des installations coûteuses et reste peu accessible aux usines à production essentiellement limitée. Diverses tentatives ont été entreprises, depuis un certain temps déjà, pour créer des réductions satisfaisantes de l'outillage Bessemer. Une solution heureuse, celle du convertisseur G. Robert, était présentée à l'Exposition de 1889. L'inventeur est parvenu à maintenir l'acier à une température convenable malgré le refroidissement dû au faible volume de la masse en fusion; il a réussi à affiner des charges ne dépassant pas 500 kilogrammes, alors que les appareils Bessemer actuels opèrent sur des charges de 8 à 10 tonnes.

Les garnitures basiques ont été appliquées aussi aux fours à sole chauffés par les gaz et ont permis de traiter des fontes jusque-là impropres à l'obtention de l'acier Martin, mais non peut-être des fontes aussi phosphoreuses qu'avec le convertisseur Thomas, qui est resté l'instrument de la déphosphoration proprement dite. Eu égard à la facilité de la conduite du travail, les fours à sole se prêtent admirablement à la préparation des produits les plus variés et les plus soignés.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Une invention nouvelle, celle de la garniture *neutre* en fer chromé de MM. Valton et Rémaury, tend à faire de la cuvette du four à sole un vase à parois inattaquables, même dans l'élaboration de l'acier sur sole. On a pu produire ainsi, sur sole neutre, des aciers extra-doux ou fers fondus, rivalisant avec les meilleurs fers au bois, qu'ils semblent devoir remplacer tôt ou tard.

L'extension prise par la fabrication des aciers fondus a eu pour conséquence inévitable un amoindrissement très marqué de la production des anciens métaux, des fers fins puddlés et affinés, auxquels ces aciers se substituent dès aujourd'hui dans maintes circonstances.

En ce qui concerne les fontes, deux changements importants se sont produits de 1878 à 1889 : d'une part, l'accroissement de la production journalière des hauts fourneaux ; d'autre part, la fabrication de fontes de plus en plus spéciales. La statistique française, qui accusait, pour l'année 1878, une production totale de 1,521,000 tonnes de fonte avec 218 hauts fourneaux, soit une production annuelle de 7,100 tonnes environ par haut fourneau, a enregistré, pour l'année 1889, une production totale de 1,734,000 tonnes avec 116 hauts fourneaux seulement, soit une production de 14,900 tonnes par haut fourneau. Quant aux diverses fontes d'alliage, à haute teneur de phosphore, de silicium, de manganèse, de chrome, que les ingénieurs sont en mesure de fournir maintenant, elles ont permis la fabrication de fers et surtout d'aciers de qualités spéciales, dans des conditions certaines de régularité et de prix de revient. L'initiative de ces produits spéciaux appartient à la France; mais l'Angleterre nous a suivis de près.

Enfin je dois mentionner comme des résultats d'un réel intérêt, au point de vue de l'économie de combustible, les progrès dans l'emploi des gaz perdus, évacués par les hauts fourneaux, à l'éclairage des usines ainsi qu'au chauffage des chaudières; le perfectionnement des cubilots et des appareils à air chaud; les fosses Gjers; etc.

b. *Matériel mécanique des forges et aciéries.* — En même temps que

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la métallurgie se transformait par une application chaque jour plus rationnelle des procédés de chauffage, par la mise en œuvre, pour la garniture des fours, de matériaux mieux appropriés et plus résistants, le matériel mécanique des forges et des aciéries se renouvelait également; il était adapté au travail des pièces de formes variées et de fortes dimensions qu'exigeaient soit l'armement, soit la construction des navires, des machines, des ouvrages d'art. Alors que les commandes militaires nécessitaient des outillages formidables, la fabrication des produits industriels courants augmentait aussi la puissance et la souplesse de ses moyens d'action.

On est tout étonné, en se reportant aux rapports sur les anciennes expositions, de voir avec quel enthousiasme Michel Chevalier, organe du jury de 1849, citait les marteaux-pilons « du poids énorme » de 3,000 à 4,000 kilogrammes. Ces merveilleux engins n'étaient que des joujoux, à côté du marteau de 80 tonnes que le Creusot exposait en 1878 et qu'il destinait à la fabrication des canons de 120 tonnes, ainsi que des plaques de blindage de 0 m. 70 à 0 m. 80. Malgré les préférences que beaucoup de fabricants de pièces de forge en acier semblent donner aujourd'hui à la presse hydraulique, les dimensions des marteaux-pilons continuent à croître; le modèle d'un marteau de 100 tonnes figurait à la dernière Exposition. Quelque colossal que soit leur poids, les pilons à vapeur n'en restent pas moins des outils d'une souplesse admirable, obéissant à la main de l'homme avec une docilité merveilleuse, pouvant, au gré du forgeron, broyer une masse gigantesque de métal ou fendre délicatement la coquille d'une noisette : c'est un jeu auquel le préposé au marteau ne manque jamais de se livrer devant les visiteurs de distinction.

Pour les laminoirs, la vogue est aux trains réversibles. Dès 1867, M. Ramsbottom appliquait la machine réversible pour le laminage des fortes tôles. En 1875, la société Cockerill mettait en marche un outil fondé sur le même principe et propre au laminage des rails; elle ne l'avait adopté qu'après une étude approfondie de tous les systèmes en usage et en particulier du système américain à trois cylindres. Cet outil lui a permis d'atteindre aux plus hautes productions de rails

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qui aient été obtenues jusqu'alors en Europe; les avantages en ont été si bien reconnus que plusieurs aciéries ont commandé à Seraing le même outillage. En 1889, on signalait la machine réversible des aciéries du Nord et de l'Est, d'une puissance de 5,000 chevaux-vapeur, pour le laminage à grande longueur des rails et des billettes.

Mentionnons encore l'énorme laminoir à plaques de Saint-Jacques de Montluçon, exposé en 1889 par la Société des forges de Châtillon-Commentry. Ce laminoir peut passer un lingot de 1 m. 80 d'épaisseur et le réduire à 0 m. 60.

c. *Métallurgie des métaux autres que le fer.* — Le traitement métallurgique des métaux autres que le fer, sans avoir une importance comparable à celle de la sidérurgie, n'en est pas moins des plus intéressants. Mais, pour l'étudier même sommairement, ce ne serait pas trop d'un volume entier. Il faudra me borner à quelques indications tout à fait essentielles; je m'y considère comme d'autant plus autorisé qu'en général le matériel et les procédés de cette branche de la métallurgie sont à peine représentés aux expositions.

Dans son rapport de 1867, M. Lan constatait le défaut de progrès importants dignes d'être signalés, surtout à côté de ceux qui s'étaient accomplis dans le traitement du fer. En Europe, la métallurgie du cuivre, du plomb, du zinc, de l'étain, du mercure, de l'or, de l'argent, avait ses formules depuis longtemps fixées dans les districts miniers d'Allemagne, d'Angleterre, de Suède et de Norvège, pays classiques pour l'élaboration de ces métaux. Toutefois les changements économiques provoqués par l'amélioration des voies de transport faisaient sentir leur influence, de même que pour le fer; on retrouvait la lutte du combustible minéral contre le combustible végétal, le recul du charbon de bois devant la houille, du four à cuve devant le four à réverbère. Cette substitution des procédés anglais aux procédés allemands était en outre aidée par les perfectionnements de la gazéification des combustibles légers, ainsi que le prouvait l'application du réverbère au gaz à la métallurgie du cuivre dans des contrées comme la Suède, terre de prédilection du four à cuve.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Quoique battus en brèche, les fours à cuve demeuraient encore fort nombreux. Ils avaient reçu diverses améliorations, dont la plus saillante était l'adaptation de tuyères nombreuses à un four rectangulaire, dispositif appliqué dans diverses régions, particulièrement dans celle du Harz, au traitement des galènes cuivreuses et argentifères (four Rachette).

Les fours à manche, à tirage naturel, d'abord établis timidement en Espagne pour suppléer aux fours soufflés, à défaut d'une force motrice économique, s'étaient ensuite répandus, apportant avec eux une réduction des frais de traitement.

Suivant l'exemple de sa devancière, l'Exposition de 1878 révélait peu de procédés ou d'appareils nouveaux. M. Habets, rapporteur du jury, citait les presses hydrauliques à creusets de M. Dor, construites en vue de la métallurgie du zinc : ces presses donnaient des creusets d'une très grande compacité, propres au traitement de minerais qui, dix ans auparavant, eussent été jugés sans valeur, et constituaient par suite un progrès réel.

Dans le domaine de la métallurgie du plomb et de l'argent, le procédé de désargentation et de raffinage du plomb à la vapeur d'eau, dû à MM. Luce et Rozan (1869), s'était rapidement propagé en France, en Angleterre, en Espagne, en Italie, en Autriche. La Belgique et l'Allemagne employaient plutôt la désargentation par le zinc et les procédés de pattinsonage mécanique.

Le fait saillant de l'Exposition de 1889 a été l'application des convertisseurs soufflés au traitement des mattes cuivreuses. Ordinairement l'extraction du cuivre de ses minerais par voie de fusion exige des opérations nombreuses et une forte dépense de combustible et de main-d'œuvre: c'est même par suite de cette dépense de charbon que la France limite son rôle, dans l'industrie du cuivre, au raffinage des métaux bruts de provenance étrangère. Dès 1868, les allures rapides et économiques de la cornue Bessemer avaient fait naître l'idée de l'introduire dans le traitement des mattes cuivreuses; mais les premières tentatives n'eurent aucun succès. En 1878, M. P. Manhès reprit le problème; à la suite d'études persévérantes, il apporta une

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

heureuse modification au convertisseur et fixa des règles de travail qui assurent aujourd'hui le fonctionnement régulier du procédé.

M. Manhès a, depuis peu de temps, étendu le même procédé, sauf de légers changements, à l'extraction du nickel. D'autres opérations oxydantes, telles que la fabrication du blanc de zinc ou du minium, y auront peut-être recours.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE II.

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DES EXPLOITATIONS RURALES ET FORESTIÈRES.

1. Considérations générales. — A aucune époque les conditions et le régime de la production ne se sont plus profondément modifiés que pendant ce siècle. Le développement des routes et des canaux, l'amélioration des voies fluviales, l'établissement des chemins de fer, la navigation à vapeur, l'application industrielle de l'électricité, et, dans un autre ordre d'idées, les traités de commerce entre les différents peuples, ont bouleversé la face de l'ancien et du nouveau monde. Au fur et à mesure que se réalisaient ces changements merveilleux dans les relations des départements, des provinces, des États, on a vu les transactions et les échanges prendre un essor inouï, la puissance d'absorption croître partout en même temps que la puissance créatrice, les anciennes barrières tomber sous le flot du trafic, les diverses régions se livrer mutuellement leur trop-plein, les produits s'approprier moins aux besoins locaux qu'aux ressources locales, chaque pays, chaque contrée tirant ainsi de son sol, de sa situation et du génie de ses habitants le maximum d'effet utile.

Cette révolution s'est manifestée surtout dans la production industrielle. Mais elle a également transformé l'agriculture. Si les conséquences en ont été moins frappantes dans le domaine agricole, la différence s'explique aisément. Tout d'abord l'alimentation humaine n'offre qu'une élasticité et une souplesse fort limitées; elle peut changer ses éléments, devenir un peu plus abondante, sans que jamais ses variations soient comparables à celles de la consommation des objets manufacturés, des tissus par exemple. D'un autre côté, comme nous le verrons plus loin, l'homme n'a pas la même influence,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la même action, sur le rendement de la terre que sur celui des usines. Enfin les intérêts agricoles sont si multiples et si divisés, la masse à mettre en mouvement est si considérable que l'impulsion se heurte nécessairement contre des résistances beaucoup plus grandes.

Néanmoins, je le répète, l'agriculture n'est point restée stationnaire; elle a obéi, comme l'industrie, sinon dans la même mesure, à la loi du progrès. Au surplus, à défaut de toute autre cause, l'accroissement de la population, le développement corrélatif de la consommation, la hausse des salaires, le relèvement du loyer des terres, eussent suffi à la pousser en avant.

Parmi les facteurs du renchérissement de la main-d'œuvre, l'un des plus puissants a été la raréfaction des travailleurs ruraux, attirés par les ateliers et les manufactures. La ville exerce une fascination irrésistible sur le campagnard, qui espère y trouver une vie facile et agréable, et qui n'y rencontre souvent que la gêne, parfois la misère, avec la perte de ses forces et de sa santé.

Supportant des charges plus lourdes, embarrassée pour le recrutement de son personnel, obligée cependant de produire davantage, contrainte par la concurrence internationale à ne point relever ses prix de vente, l'agriculture a dû améliorer ses méthodes et ses procédés, recourir à des pratiques plus rationnelles et plus scientifiques, tirer un meilleur parti du sol et du travail de l'homme.

Pour suppléer au manque de bras, la mécanique s'est chargée de fournir des instruments plus parfaits, des engins nouveaux, réduisant les opérations manuelles, les supprimant parfois, augmentant en tout cas, dans une forte proportion, la capacité productrice des ouvriers.

L'Arabe, avec son outil primitif, remue à grand'peine 150 mètres cubes de terre par jour, tandis que, sur le continent européen, un laboureur actif, pourvu d'une bonne charrue moderne, retourne facilement 600 mètres cubes en dix heures. Bien autres encore sont les résultats donnés par la charrue à vapeur, qui permet de labourer, dans le même temps, 8 ou 10 hectares, à 0 m. 15 de profondeur, et d'exécuter des défoncements presque impossibles par le seul moyen

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des animaux. Ainsi le matériel perfectionné de labourage, en même temps qu'il facilite la culture superficielle, met en valeur des éléments de fécondité jusqu'alors perdus. Il serait facile de multiplier les exemples, de citer des faits semblables dans toutes les branches de la culture.

La machine a d'ailleurs le mérite de reporter sur l'animal de trait ou sur la force inanimée la partie la plus rude du labeur naguère imposé aux journaliers. Elle rend à l'homme son véritable rôle, celui de la direction, celui de l'intelligence. Adopter l'outillage mécanique, c'est faire, non seulement œuvre de progrès, mais aussi œuvre d'humanité.

A ces avantages s'en ajoute un autre très précieux, dû à la rapidité des opérations. La machine assure au cultivateur une liberté d'allures et de mouvements beaucoup plus grande, lui permet de choisir son moment, de ne moissonner ou de ne faucher que lorsque le temps est propice, de tirer parti des jours favorables qui ne manquent jamais, fût-ce dans les années les plus mauvaises au point de vue climatérique. Le bénéfice obtenu sur la qualité et la quantité des récoltes faites dans ces conditions est loin d'être négligeable.

On doit aussi inscrire à l'actif de l'outillage mécanique une économie notable sur la semence. Pour le froment, cette économie peut atteindre 90 ou 100 litres par hectare, soit 40 p. 100 de la dépense moyenne. La culture en lignes se traduit du reste par des récoltes plus propres, plus certaines, plus abondantes.

C'est à la Grande-Bretagne que revient l'honneur des premiers progrès de l'outillage agricole. Son immense essor industriel l'a mise en effet, avant tout autre pays, aux prises avec la hausse des salaires, la rareté de la main-d'œuvre rurale et les exigences d'une culture plus intensive.

Dès la fin du siècle dernier, un Écossais, A. Meikle, inventait la machine à battre. Vers la même époque, l'un de ses compatriotes, Small, apportait à l'antique charrue saxonne des perfectionnements considérables. On voyait déjà se fonder quelques-unes de ces grandes

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fabriques d'instruments aratoires, qui ont exercé une si heureuse influence sur le développement de l'agriculture; on voyait se dessiner le mouvement qui a fait du sol britannique l'une des premières contrées du monde pour le rendement de la terre, comme pour la construction des machines de culture.

A l'origine l'Écosse avait eu la plus large part dans ce mouvement. Mais, à partir de 1816, l'Angleterre, qui jusque-là s'était attachée de préférence à l'amélioration de ses races de bestiaux, suivit l'impulsion et devança bientôt sa rivale, grâce à la puissance des moyens dont elle disposait. Elle généralisa l'emploi du scarificateur, de la herse, du semoir; elle entreprit même de défoncer ses terres les plus compactes et les plus difficiles, à l'aide de puissants appareils à vapeur.

La faveur avec laquelle furent accueillies les machines propres à rendre le travail plus parfait, plus rapide ou plus économique, stimula énergiquement la fabrication. D'habiles mécaniciens soutenus par de grands capitalistes s'emparèrent de cette branche d'industrie et la concentrèrent dans de vastes ateliers, occupant un nombreux personnel, alors que, sur les autres points de l'Europe, les artisans de village conservaient le monopole des instruments aratoires. Cette concentration dans des usines fortement organisées et servies à la fois par l'intelligence, le savoir et le capital, eut pour résultat de porter le matériel de l'agriculture anglaise à un haut degré de perfection; elle donna naissance à toute une série d'utiles innovations, qui de là se répandirent vers les autres parties du monde.

Des faits non moins remarquables se sont accomplis par delà l'Atlantique. Plus pauvres encore que la Grande-Bretagne sous le rapport de la main-d'œuvre, n'ayant point à se préoccuper de l'épuisement du sol, moins dominés dès lors que la vieille Europe par la loi de restitution au moyen des engrais et des amendements, les États-Unis ont tourné tous leurs efforts du côté des perfectionnements mécaniques. Le jour d'une de leurs plus belles victoires a été celui où, après avoir dû longtemps abandonner une partie de leurs récoltes sur pied, faute de bras pour les recueillir, ils ont acquis la machine à moissonner.

Non contents des débouchés que leur procure un immense terri-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

toire, les constructeurs américains ont eu l'ambition d'exporter sur les marchés européens, non seulement des faucheuses et des moissonneuses, mais encore les autres outils agricoles. Leurs manufactures rivalisent aujourd'hui avec celles de l'Angleterre.

En France, le besoin d'un outillage perfectionné ne s'est fait sentir que plus tard. La diffusion de cet outillage a d'ailleurs été ralentie par le morcellement de la propriété, qui constitue un obstacle à l'emploi de certains instruments coûteux et d'un maniement difficile.

Les grands concours régionaux ont été fort efficaces pour la lutte contre la routine et les pratiques arriérées, pour éclairer nos cultivateurs sur les mérites des machines anglaises et américaines, sur leur valeur comparée à celle des anciens instruments aratoires. Mais ils ne datent que de 1851. Aux concours régionaux se sont joints le concours général annuel de Paris, puis ceux des expositions universelles de 1855, 1867, 1878 et 1889, qui ont permis de multiplier les essais et les expériences sous les yeux d'un grand nombre de visiteurs. Enfin l'enseignement a puissamment contribué à l'extension des connaissances et à l'amélioration du matériel.

D'après les statistiques décennales de notre situation agricole et d'après le rapport de M. Durand-Claye sur l'Exposition de 1878, voici quel était, en 1862, 1878 et 1882, le nombre des machines employées par l'agriculture française :

DÉSIGNATION DES MACHINES.	1862.	1878[1].	1882.
Machines à vapeur fixes ou locomobiles	2,849	8,000	9,288 [4]
Charrues	3,206,421	3,200,000 [2]	3,267,187
Houes à cheval	25,846	//	195,410
Machines à battre	100,733	150,000	211,045
Semoirs mécaniques	10,853	//	29,391 [5]
Faucheuses mécaniques	9,442	10,000	19,147
Moissonneuses mécaniques	8,907	9,000	16,025
Faneuses et râteaux à cheval	5,649	6,000 [3]	27,364

(1) Nombres approximatifs.
(2) Dont 1 million de charrues perfectionnées.
(3) Faneuses.
(4) L'enquête dénombre aussi 12,883 roues hydrauliques et 9,428 moulins à vent.
(5) 11,632 pour céréales, 8,388 pour racines, 9,371 pour céréales et racines.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Traitant du labourage à vapeur, le rapporteur du jury de 1878 l'indiquait comme cantonné chez nous dans les limites d'une douzaine de fermes, tandis que l'Angleterre avait alors 2,000 charrues à vapeur et l'Allemagne plus de 100. La Russie et la Roumanie commençaient à adopter ces puissants engins.

Les relevés de l'Administration des mines, pour 1889, attribuent à l'agriculture 14,600 machines à vapeur.

Un outillage perfectionné économise le temps, ce grand facteur du prix de revient, et contre-balance la cherté croissante de la main-d'œuvre. Mais son influence n'est pas aussi étendue qu'on pourrait le croire au premier abord. Dans l'industrie, les forces mises en jeu sont relativement limitées et toutes à la discrétion de l'homme; le fabricant peut régler, pour ainsi dire à son gré, la masse de fil sortant de ses métiers ou le nombre de tonnes de rails produits par ses fourneaux et ses laminoirs. Il en est autrement de l'agriculture : le travail, sous quelque forme qu'il se réalise, ne joue plus un rôle prédominant dans la production des denrées et ne représente qu'une valeur minime dans la fabrication d'un sac de froment, d'un kilogramme de viande ou d'une balle de laine.

Comme l'a si bien fait ressortir l'éminent directeur de l'agriculture, M. E. Tisserand, à propos de l'Exposition de Vienne (1873), la force dépensée par l'homme, soit directement, soit indirectement, peut se chiffrer à 30 ou 35 journées de cheval attelé, pour 1 hectare de blé. « Son travail, ajoute M. Tisserand, ne dépasse pas celui de 11 « à 12 chevaux-vapeur pendant vingt-quatre heures. Quelle a été la « dépense de force effectuée par la nature pour faire ce même blé? « Les découvertes de la physique moderne nous permettent de nous « en faire une idée assez exacte et de la calculer. Elle est énorme! « Elle s'élève, pour une récolte moyenne, à celle que produiraient « 2,600 chevaux-vapeur travaillant vingt-quatre heures, ou à 7,800 « journées de cheval. »

Ainsi ce sont les agents naturels, la chaleur, la lumière, l'électricité, les phénomènes météorologiques, qui concourent dans la plus

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

large mesure au développement de nos récoltes. C'est par leur action que les éléments de l'air et de l'eau, les matières minérales de la terre et les substances organiques emmagasinées au-dessous de la surface du sol se fixent dans les plantes, pour former leurs tissus vivants et constituer les produits nécessaires à la satisfaction de nos besoins.

Ces forces que la nature nous prodigue sans compter sont multiples, ondoyantes, capricieuses, et presque complètement indépendantes de notre volonté. Quelques-unes peuvent néanmoins être aménagées et asservies; toutes sont susceptibles d'un rendement plus ou moins élevé, suivant les conditions dans lesquelles elles agissent, et il nous appartient de préparer habilement leur champ d'opérations.

Un premier moyen dont dispose le cultivateur consiste à accroître la superficie exploitée, à mettre en état de production les terrains stériles, encore trop étendus, au centre même de l'Europe. Car la matière première des plantes ne fait pas plus défaut que les agents naturels; elle remplit l'Océan, inonde l'atmosphère, couvre la terre; la source en est inépuisable; elle se régénère sans cesse. Seul, l'espace manque. Nous sommes un peu dans le cas d'un industriel qui aurait sous la main quelques milliers de chevaux-vapeur, pour mettre en mouvement une petite machine-outil. La même quantité de chaleur, de lumière, de pluie, vient baigner l'hectare de friche comme l'hectare en culture, et c'est trop souvent l'homme qui néglige de reculer les bornes de son domaine utile. Supprimer les jachères, dessécher les marais, procéder à des opérations de colmatage bien entendues, défricher à propos, sont choses que nous devons savoir faire, pour ne pas gaspiller les ressources naturelles mises à notre portée.

Puis, quand il ne reste plus de terrain à conquérir, ne peut-on demander à la profondeur ce que la surface devient incapable de donner? D'énergiques défoncements, pratiqués en Angleterre et sagement combinés avec des drainages et avec un bon emploi des engrais, ont souvent augmenté de moitié et parfois doublé l'épaisseur de la couche arable. La production s'en est trouvée sensiblement accrue.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'homme n'est pas non plus lié à telle ou telle culture déterminée. Il doit choisir intelligemment les plantes convenant au climat et au sol de la région, repousser celles qui ne s'approprient point aux circonstances locales, écarter toute violence à la nature, se souvenir qu'en l'état actuel des communications l'essentiel est, non de créer sur place ce qui y sera consommé, mais d'avoir des produits abondants et riches, d'arracher à la terre tout ce qu'elle peut fournir.

Dans la même espèce, la plante comporte des variétés. Par une sélection rationnelle, le cultivateur réalisera des améliorations comparables à celles qui ont été obtenues pour les bêtes à laine; en s'engageant dans cette voie, la culture de la betterave est arrivée à des résultats merveilleux.

Ce n'est pas tout que de perfectionner la plante, de la confier au sol et au climat le plus favorables. Pour en assurer le parfait développement, l'entier épanouissement, pour mettre complètement à profit la puissance productive dont elle est douée, d'autres conditions sont nécessaires. Il faut que la terre où elle germe et pousse ses racines soit bien ameublie, nettoyée, assainie au besoin par le drainage, modifiée, s'il y a lieu, dans son état physique par des amendements tels que la marne. Il faut aussi et surtout que cette terre contienne en abondance les substances propres à se transformer en tissus vivants, sous la bienfaisante influence du soleil, de l'atmosphère et de l'eau, et à engendrer dans ces tissus la fécule et le gluten de nos céréales, l'huile de nos végétaux oléagineux, le sucre de nos betteraves, etc. Si la perméabilité du sous-sol ou la sécheresse n'y maintiennent pas l'humidité voulue, il est indispensable d'y pourvoir par des irrigations. Dans tous les cas, le cultivateur doit lui restituer les matières constitutives enlevées par les récoltes, l'enrichir sans cesse, afin de donner plus d'aliments au travail des agents naturels; il ne saurait se soustraire à cette impérieuse nécessité.

Je viens de citer les irrigations. Personne ne met plus en doute leur efficacité; personne ne conteste qu'elles puissent tripler, quadrupler, décupler même la valeur de certains immeubles. Le but à poursuivre

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

est d'en répandre davantage les bienfaits, d'utiliser les eaux surabondantes des fleuves et des rivières, de recueillir les quantités énormes de limon fertilisant que charrient nos cours d'eau et qui vont se perdre dans la mer, au grand détriment de la fortune publique.

Sans doute, nous n'avons rien de comparable au Nil, dont chaque mètre cube roule 1,250 grammes de matières en suspension. Cependant que de millions de mètres cubes descendent chaque année de nos montagnes vers l'Océan ou la Méditerranée! Quel intérêt n'aurions-nous pas à empêcher ce funeste émiettement du domaine national, à capter au passage toutes ces parcelles du patrimoine que nous ont légué les précédentes générations!

Les anciens ont largement pratiqué l'irrigation et fait des travaux qui nous étonnent par leur conception et leur ampleur. A une époque plus récente, les Arabes, connaissant la valeur de l'eau et les miracles dont elle est capable, sous les chauds rayons du soleil, se sont ingéniés à la prendre aussi souvent et aussi habilement que possible comme auxiliaire dans leurs opérations agricoles. Est-il besoin de citer encore les merveilles de la huerta de Valence, des marcites du Milanais? Faut-il rappeler les sacrifices considérables de l'Angleterre aux Indes, la dépense de 60 millions qu'elle a engagée pour dériver 190 mètres cubes du Gange? La France elle-même n'a-t-elle pas réalisé d'immenses plus-values sur certains points de son territoire, notamment dans le Midi?

On doit, du reste, rendre justice aux efforts du Gouvernement français pour étendre le champ des arrosages, surtout pendant la seconde moitié de ce siècle. En 1878, M. de Freycinet, alors ministre des travaux publics, voulant affirmer le haut intérêt qu'il portait à la question, en a confié l'étude à une « Commission supérieure « de l'aménagement des eaux »; son but était de reprendre et de développer les entreprises forcément négligées à l'époque de l'établissement des chemins de fer. Plus tard, en 1881, Gambetta a rattaché l'hydraulique agricole au Ministère de l'agriculture et en a fait une direction. Plusieurs canaux ont été ouverts, et, dans une note insérée au *Journal officiel* à propos de l'Exposition universelle de 1889, M. Phi-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

lippe, inspecteur général des ponts et chaussées, a pu constater, avec une légitime satisfaction, que notre pays tenait bien son rang, à côté de la Lombardie et de l'Inde anglaise. Il n'en reste pas moins encore une longue carrière à parcourir. Ce sera un peu l'œuvre des pouvoirs publics, beaucoup celle de l'initiative privée; l'essentiel est que l'esprit d'association se forme et grandisse dans nos campagnes, que les intéressés ne vivent pas au jour le jour, qu'ils sachent se résoudre à certaines avances, sûrement productives.

Parmi les autres éléments de succès, il en est un qui mérite aussi de nous arrêter, même dans cet exposé général : je veux parler de l'usage des engrais.

Si les anciens ont fait preuve d'un véritable génie dans les travaux d'irrigation, leur faiblesse a été de ne point connaître exactement les phénomènes de la production organique, d'ignorer les éléments qui entrent dans la composition des plantes et les sources d'où sont tirés ces éléments. La loi de la restitution au sol par les engrais, loi supérieure et scientifique qui domine toutes les opérations de la culture moderne, établit, au point de vue agricole, une différence radicale entre la civilisation antique et la civilisation contemporaine.

A l'époque la plus brillante de leur histoire, les Grecs et les Romains voyaient surtout dans l'agriculture une profession manuelle; pour eux, le progrès consistait en une succession ingénieuse de plantes, en assolements, en soins minutieux donnés au fumier d'étable, qu'ils divinisaient sous le nom de Sterculus, tandis qu'ils laissaient perdre toutes les autres matières fertilisantes. Par ses pratiques vicieuses, par les leçons des Caton et des Columelle, l'antiquité en est venue à créer les déserts de la Grèce, de la Tunisie, de l'Asie; elle a causé la dépopulation des pays les plus riches et les plus prospères. L'Égypte n'a échappé à cette désolation que grâce au renouvellement de son sol par les limons du Nil.

Bien autres sont les enseignements de la science moderne, les conseils de Liebig, de Dumas, de Boussingault. A l'agriculture empirique, à la doctrine du pouvoir créateur des plantes pour certains de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

leurs principes élémentaires, la chimie du XIXe siècle oppose l'agriculture qui ne crée et ne détruit aucun atome de matière, mais qui puise dans l'atmosphère et dans le sol tous les éléments de ses récoltes. Elle apprend que la terre, créatrice infatigable de substances organisées, demande elle-même à être vivifiée et que l'homme doit lui fournir, sous une forme assimilable, l'équivalent de ce qui en est sorti à l'état de graines, de fourrages, de laine, de viande ou de lait. Elle enseigne aussi que certains terrains, naturellement incomplets, doivent être complétés par l'apport des éléments qui leur font défaut; la géologie indique où ces éléments pourront être puisés.

Désormais l'agriculteur, au lieu de s'attacher à l'alternat comme par le passé, se préoccupera avant tout d'enrichir le sol au moyen d'engrais et d'assurer ainsi la continuité de ces grands mouvements, de ces transformations incessantes de la matière. Il s'efforcera, non seulement de ne pas perdre une molécule de fumier, mais encore d'utiliser les détritus de la consommation humaine, les vidanges, les eaux d'égout, les boues des villes; il emploiera les résidus d'usines; toutes ces substances, qui semblaient constituer autrefois un *caput mortuum*, rentreront dans le *circulus* gigantesque par lequel la vie se rattache à la mort.

Pour fertiliser le sol, pour en équilibrer la dépense et la recette annuelles, l'agriculture ne se bornera pas à recourir aux matières organiques. Elle fera en outre appel au règne minéral : les phosphates, les nitrates, les sels d'ammoniaque, de potasse, de chaux, fourniront leur contingent de substances assimilables, apporteront à la terre les éléments qui lui sont nécessaires et que le fumier, engrais incomplet, serait impuissant à lui donner.

Grâce à la multiplicité des sources auxquelles il pourra puiser, le cultivateur, libre de tout système exclusif, choisira facilement ses engrais, de manière à nourrir le sol sans accroître outre mesure ses débours, sans engager des dépenses hors de proportion avec le prix de vente de ses produits.

Le vieux monde sera ainsi en état de lutter contre les pays neufs, dans le sol desquels les éléments de fertilisation se sont accumulés

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pendant une longue suite de siècles et qui battront plus ou moins longtemps monnaie avec les réserves du passé.

Il est intéressant de constater combien la Chine et le Japon nous ont devancés dans la culture intensive. N'ayant pas à se préoccuper de la question de main-d'œuvre, les agriculteurs de l'Extrême-Orient ont négligé l'homme et son travail, pour consacrer tous leurs soins au perfectionnement de la plante, au travail de la nature. Par le choix des végétaux et des semences, par l'emploi bien compris des engrais, ils sont parvenus à suffire aux besoins d'une population surabondante, à transformer des régions immenses en véritables jardins, où le sol ne cesse pas un instant de produire.

Ce que la science devait nous révéler dans ces derniers temps, l'observation patiente l'avait enseigné en partie aux Orientaux depuis des siècles. Elle leur avait appris à ne laisser perdre aucune parcelle de matière fécondante, à restituer au sol ce qui lui était enlevé, bien plus à ne jamais se lasser de l'enrichir, à utiliser tous les détritus de la consommation humaine. Les savants, terribles dans leur logique, enregistrent même avec une sorte d'admiration le soin que prenait la Chine de faire revenir la dépouille des émigrés morts à l'étranger : il est permis cependant d'attribuer à un mobile plus élevé ce rapatriement après décès. On sait aussi l'habileté des peuples de l'Orient pour l'aménagement des eaux, les économies considérables de graines qu'ils réalisent par le semis au poquet, leur sollicitude pour le nettoyage du sol, leur mode de distribution de l'engrais en poudre par petites pincées, etc.

Nous avons l'inappréciable avantage d'être secourus et guidés par la mécanique, la physique, la chimie, les sciences naturelles. Malgré cet avantage, le progrès agricole n'est pas assez rapide à notre gré; mais il s'agit de faire pénétrer la lumière jusqu'au dernier recoin des campagnes, de la répandre dans les couches profondes de travailleurs, de développer une force productive quelque peu rebelle, celle de l'homme instruit. Les peuples modernes pourront invoquer, comme

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'un de leurs principaux titres de gloire, la diffusion de l'enseignement à tous les degrés.

Si l'on y ajoute l'extension et l'amélioration des voies de transport, la substitution de libertés commerciales relatives à l'ancien régime ultraprotecteur, l'emploi malheureusement trop restreint encore du crédit, la multiplicité des expositions et des comices, on aura dénombré les facteurs principaux de l'évolution qui s'est manifestée dans l'agriculture. Nous y reviendrons plus tard, en abordant le groupe VIII de la classification officielle. Il faut ici nous limiter à une revue sommaire des changements éprouvés par le matériel et les procédés d'exploitation, surtout au cours du XIX^e^ siècle.

2. Matériel agricole. — a. *Instruments destinés à la préparation du sol.* — La *charrue* est l'instrument essentiel aussi bien que l'un des symboles du travail rural. Il serait fort intéressant d'en reconstituer la genèse et les transformations successives. C'est malheureusement une histoire pour laquelle les documents font défaut : nos musées sont aussi pauvres en outils de culture que riches en vieilles épées.

Pendant de longs siècles, la charrue n'a été qu'un appareil des plus rudimentaires, capable seulement de gratter le sol à quelques centimètres; l'application de principes vraiment rationnels dans l'étude de ses formes et la structure de ses organes ne remonte guère au delà de cinquante années. A cet égard, l'Exposition de 1878 offrait un rapprochement curieux : d'un côté, les charrues du royaume de Siam, de la Tunisie, de la Chine, très peu différentes sans doute de la charrue biblique; de l'autre, les instruments modernes, combinés et ajustés avec un art et une précision irréprochables.

La Belgique paraît être le berceau de la charrue contemporaine. A une époque où les quatre cinquièmes de l'Europe n'avaient encore que l'antique et informe charrue romaine, elle possédait déjà un bon outil, qui a servi de modèle et de point de départ pour les perfectionnements ultérieurs.

En Angleterre, comme en France, la charrue romaine, introduite après la conpuête, resta longtemps le seul instrument attelé servant

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à la culture du sol. Plus tard vinrent la charrue saxonne, lourde machine munie d'un avant-train et d'un versoir fixe, puis la charrue normande, également à roues et à versoir fixe, mais moins défectueuse. Ces trois appareils semblent s'être transmis de génération en génération, sans changement notable, jusqu'à la fin du XVII^e^ siècle. Un acte du Parlement, de 1634, témoigne de l'état arriéré de l'agriculture anglaise à cette époque : il est intitulé *acte contre la coutume d'atteler les bœufs à la charrue par la queue et d'arracher la laine des moutons* (au lieu de la tondre).

Vers le commencement du XVIII^e^ siècle, Walter Blythe fit venir de Hollande une charrue qui devait peu différer du type connu plus tard sous le nom de *brabant*. D'après ce modèle et ses propres idées, il construisit un appareil simple, dit *charrue de Rotherham* et supérieur aux autres instruments en usage.

Mais le véritable créateur de la mécanique agricole, l'initiateur du mouvement de progrès qui devait ensuite se continuer sans interruption fut l'Écossais J. Small. Cet industriel créa, en 1763, une fabrique d'instruments aratoires à Blackader-Mount (Berwickshire); durant trente années, il se consacra exclusivement à l'amélioration du matériel agricole et spécialement à la construction d'une charrue jadis célèbre et regardée en Europe comme l'idéal de la perfection.

Après Small, deux autres Écossais, Wilkie et Fynlayson, poursuivirent son œuvre pratique, en la modifiant et en la perfectionnant, tandis qu'Arbuthnot, Williamson et surtout Bayley (1795) tentaient, mais sans grand succès, d'établir la structure de la charrue sur des bases scientifiques. A défaut d'autres résultats, les efforts de Bayley eurent du moins l'avantage de mettre en éveil l'attention des mécaniciens et de fixer quelques principes importants. Vers la même époque, le président Jefferson inventait la charrue américaine, en donnant au versoir une forme géométrique.

Il faut, nous l'avons vu, franchir un demi-siècle environ pour rencontrer des charrues construites d'une manière tout à fait rationnelle.

Entrer dans la description des formes diverses attribuées à ces instruments serait sortir du cadre d'un rapport général. Ces formes

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ont, d'ailleurs, varié d'un pays à l'autre, avec les habitudes locales, le climat, la nature des terres, la consistance générale du matériel de culture. Ainsi les cultivateurs anglais donnaient leurs préférences à la charrue coupant la terre avec netteté et la retournant sans la briser : son travail était en effet complété postérieurement par celui des scarificateurs, des rouleaux brise-mottes, des herses énergiques. Sur le continent, au contraire, on demandait à la charrue de faire subir au sol un émiettement plus ou moins accusé. En Amérique, les instruments de labour se distinguaient par une extrême économie de matière, n'excluant pas la solidité, par une grande légèreté, par une remarquable simplicité d'organes; la préoccupation dominante du fabricant était de rendre les appareils faciles à transporter et à réparer, pour satisfaire aux exigences spéciales du pionnier qui allait défricher les vastes plaines de l'Ouest : cette tendance engendra notamment le soc dit *américain*, adopté ensuite par tous les constructeurs de l'Europe continentale.

Deux noms français appartenant à la première moitié de ce siècle, ceux de Grangé et Mathieu de Dombasle, méritent d'être retenus. Grangé, simple garçon de ferme, imagina un levier régulateur élastique, prenant son point d'appui sous l'essieu de l'avant-train, réduisant le tirage, régularisant le travail du soc, facilitant la conduite de la charrue; il livra gratuitement son invention et en fut récompensé par la croix de la Légion d'honneur. Mathieu de Dombasle acquit une légitime célébrité pour ses instruments aratoires et ses procédés d'agriculture à la fois pratique et savante.

Lors de la première Exposition universelle, l'Angleterre occupait incontestablement le premier rang au point de vue agricole, et, en particulier, au point de vue de la construction des machines. Dans l'ensemble, son matériel, très perfectionné, avait une grande supériorité sur le nôtre. Cependant les bonnes charrues françaises ne le cédaient en rien aux meilleures charrues d'outre-Manche.

On remarquait déjà une tendance au remplacement du bois par le métal. Cette substitution était même passée dans les habitudes de tous les constructeurs en renom, pour le sep, les étançons et le ver-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

soir; néanmoins on conserva longtemps encore l'âge en bois. Sous sa rusticité apparente, la charrue constitue un instrument de précision; le moindre déplacement de son point d'attelage et de ses principaux organes peut suffire pour changer dans des proportions sensibles l'effort nécessaire à sa conduite : c'est dire qu'en principe le fer offre des avantages sur le bois. Aussi les grands concours internationaux ne reçoivent-ils plus guère qve des charrues entièrement métalliques.

Je ne saurais étudier ici par le menu les perfectionnements successivement apportés au soc, au versoir, au coutre, au bâti, au régulateur de traction. Des formes meilleures ont prévalu pour le versoir, qui exerce sur la qualité du travail et la force dépensée une influence prépondérante. Il y a lieu de citer aussi, parmi les principaux progrès, l'amélioration du mode de réglage des régulateurs et la substitution de l'acier au fer ou à la fonte dans la construction du soc et du versoir.

Un fait capital est l'abaissement du prix des instruments de labour : à l'Exposition de 1878, les États-Unis cotaient de très bonnes charrues entre 37 et 45 francs.

Dans beaucoup de pays, les instruments de labour ne présentent encore que peu de variété : la charrue, la herse et le rouleau doivent suffire à tout. Il n'en est plus ainsi, depuis longtemps, ni en Angleterre, ni dans les contrées qui ont suivi de près les perfectionnements de son agriculture. Une tendance s'y manifeste en faveur de la création de types spéciaux pour les diverses opérations : *charrue sous-sol*, destinée à remuer profondément la terre au-dessous du sillon; *charrue à peler* ou *de déchaumage*, à large soc; etc. Cette tendance, qui s'accusa dès 1855, était très accentuée en 1878 dans les collections anglaises et américaines d'appareils aratoires; MM. Howard et Ransomes notamment exposaient des *bisocs*, des *trisocs*, des *défonceurs*, des *butteuses*, des *charrues avec fouilleuse*, en dehors de quelques types tout à fait particuliers comme les *tourne-oreilles*, les *brabants doubles*, les *charrues à versoirs superposés*.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Vers le milieu du siècle, le labour à plat était fort peu répandu. Aussi les charrues ordinaires à versoir fixe, destinées aux labours en billon, étaient-elles de beaucoup les plus employées en France et en Angleterre. Maintenant le drainage permet de supprimer les sillons dans les terres humides, et partout l'emploi des faucheuses-moissonneuses exige la suppression des dérayures; l'usage des charrues tourne-oreilles et des brabants doubles se répand en conséquence, et c'est même dans ces catégories d'instruments que l'Exposition de 1889 présentait le plus de modèles perfectionnés.

Eu égard au prix élevé de la main-d'œuvre et aux difficultés de recrutement des charretiers, les cultivateurs devaient inévitablement chercher les moyens d'accroître le travail produit par le conducteur. Pour répondre à ce besoin, les fabricants ont présenté des types de charrues qui font 2, 3 et 4 raies à la fois, économisant ainsi une partie de la main-d'œuvre et des attelages. Ces *polysocs* sont depuis longtemps connus en France, où on les employait, par exemple, dans les terres légères de la Champagne; mais leur usage péchait par la lenteur. Ils se sont généralisés en Angleterre, même pour les terres fortes, et l'Exposition de 1889 présentait quelques bons spécimens de ces appareils : on y voyait jusqu'à des polysocs pour labours à plat, du type *double brabant.*

L'assortiment des machines affectées à la préparation du sol est complété par les *herses* et les *rouleaux,* ainsi que par les *scarificateurs* et *extirpateurs,* d'invention plus moderne.

Herses et rouleaux furent longtemps, en France, d'une défectuosité lamentable. Les rouleaux notamment, construits en bois dans la plupart des cas, se trouvaient impropres à remplir la double opération si importante du plombage de la terre et de l'émottage.

Un premier pas en avant fut l'adoption de la herse Valcourt. Cet instrument ne valait cependant ni les herses accouplées, déjà fort usitées en Angleterre vers 1851, ni les herses norvégiennes roulantes, qui commençaient alors à se répandre en dehors de l'Europe septentrionale. Aujourd'hui les herses se construisent assez généralement

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tout en fer; les améliorations principales ont porté sur le mode d'attache des dents au bâti.

Des rouleaux en fonte, formés d'anneaux indépendants, se sont presque partout substitués aux anciens rouleaux en bois ou en pierre. Pour les terres fortes, on emploie des rouleaux à disques dentés, tels que celui de Croskill (brevet de 1841), qui, dès 1862, était connu et apprécié dans toute l'Europe.

Les *extirpateurs* et les *scarificateurs*, qui n'existaient pas dans l'ancienne culture, sont nés du besoin de suppléer à la lenteur de la charrue et à l'insuffisance de la herse. En Angleterre, où le labour a pour but de couper le sol par bandes et de le retourner, sans l'émietter, la nécessité d'appareils destinés aux façons légères s'est fait sentir plus tôt qu'en France; l'emploi de ces appareils s'y est aussi propagé plus rapidement. Ils ont été l'objet d'études approfondies de la part des constructeurs anglais, qui se sont ingéniés à les réunir et à n'avoir ainsi qu'un outil, à la monture duquel s'adaptent des socs appropriés.

M. Hervé Mangon, rapporteur du jury de 1862 (Exposition universelle de Londres), constatait qu'à cette époque les extirpateurs et les scarificateurs se répandaient en France et qu'on les appliquait avec économie à plusieurs opérations de culture, jadis effectuées exclusivement au moyen de la charrue. Depuis, le mouvement n'a pu que s'accentuer.

b. *Instruments destinés à l'ensemencement et à la levée des plantes.* — De la préparation complète du sol dépend avant tout la réussite des semis. Mais la bonne levée des plantes exige ensuite un ensemencement régulier sur la surface du champ; elle nécessite aussi l'enfouissement de la graine à une profondeur constante.

Si la disposition des graines en lignes parallèles, favorable aux binages et aux sarclages, ne s'impose pas pour certains végétaux, comme les céréales, leur distribution bien uniforme en tout sens est du moins indispensable. Le même principe s'applique à l'épandage des engrais pulvérulents ou liquides.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'espacement des graines et leur enfoncement doivent, en outre, varier suivant leur espèce, l'époque du semis et la nature du sol.

Envisagé ainsi à un point de vue scientifique, le problème de l'ensemencement ne saurait trouver une solution favorable dans le traditionnel semis à bras et à la volée. Ce mode de procéder est incapable, même entre les mains les plus exercées, d'offrir la précision voulue. La perte de graines résultant d'un semis irrégulier ne constitue que l'un des moindres inconvénients du semis à bras, et pourtant elle suffirait à payer l'impôt de la terre.

Dès que la construction des machines a réalisé quelques progrès, les inventeurs se sont efforcés d'établir un système de *semoirs mécaniques*. On fait remonter à 1647 et on attribue à l'Espagnol J. Lucatello le premier semoir pratique, comportant les pièces essentielles des semoirs modernes à cuiller. Mais c'est au célèbre Tull, initiateur de la culture en lignes sur le territoire britannique, que revient l'honneur d'avoir mis en lumière, pendant la seconde moitié du XVIII^e^ siècle, les mérites des semoirs mécaniques : économie de semence, augmentation de produits, facilités pour les sarclages. Depuis lors, les vulgarisateurs de la culture en lignes n'ont pas plus fait défaut que les auteurs de semoirs mécaniques nouveaux, de bineuses, de sarcloirs : sans parler des agronomes anglais, on peut citer, en France, Duhamel du Monceau (1750), Lullin de Châteauvieux (1752), Hugues (1831), etc. Cependant il faut arriver à l'année 1856, pour constater parmi les agriculteurs français un mouvement sérieux vers la généralisation des semis en lignes, pour voir se répandre dans leur culture le semoir dit *de Norfolk*, que plusieurs mécaniciens, entre autres J. Smyth, construisaient dès le commencement du siècle.

Il est facile de s'expliquer ce retard dans la diffusion de procédés et d'instruments pourtant si rationnels. L'une des conditions essentielles auquel reste subordonné l'usage avantageux des semoirs consiste à leur livrer un sol très soigneusement préparé. Nos cultivateurs ne pouvaient donc y recourir avant que les méthodes générales du travail de la terre se fussent sensiblement améliorées.

L'Angleterre, où le domaine des racines fourragères était déjà

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fort étendu au XVIII^e siècle, s'est familiarisée plus tôt que la France avec les semoirs mécaniques. Elle a pu en généraliser l'emploi, grâce aux progrès d'ensemble de son agriculture. La propagation des semis en lignes, sur le territoire britannique, a d'ailleurs été favorisée, en ce qui concerne les céréales, par les cours qu'ont atteints les grains, avant l'abolition des *corn-laws*. Dans son rapport sur l'Exposition de Vienne (1873), M. E. Tisserand, après avoir rappelé que depuis longtemps les Anglais semaient toutes leurs céréales en lignes, évaluait à 70 millions l'économie annuelle de culture, due à cette pratique.

Au point de vue de la construction des semoirs, nous pouvons maintenant rivaliser avec la Grande-Bretagne. Malheureusement ils ne sont encore employés d'une manière courante que par un nombre trop restreint d'agriculteurs français. Leur usage, général pour la betterave, demeure beaucoup plus limité que chez nos voisins pour les céréales.

L'utilisation de plus en plus générale des engrais pulvérulents avait conduit à créer des semoirs distribuant à la fois la graine et l'engrais, avec intercalation, le cas échéant, d'une petite couche de terre. D'autres instruments étaient destinés à répandre simultanément les graines et les engrais liquides. Ces engins à double fin ont été abandonnés; on n'emploie plus que des semoirs pour graines et des épandeurs d'engrais, indépendants les uns des autres et fonctionnant chacun au moment propice.

Parmi les avantages de la semaille en lignes, l'un des plus importants est de permettre l'emploi d'instruments attelés, pour donner à la terre toutes les façons de nettoyage qu'elle réclame pendant la végétation des plantes, et d'éviter ainsi le travail à la main, inévitablement long et dispendieux. Ces appareils, *houes à cheval*, *buttoirs*, sont d'origine britannique, et leurs progrès ont accompagné ceux du semoir, dont ils tirent leur raison d'être.

c. *Instruments destinés à la récolte des plantes.* — L'histoire de la *moissonneuse* offre un exemple frappant de la rapidité merveilleuse

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

avec laquelle peut se propager une invention qui vient à son heure et répond à un besoin pressant.

Ce n'est pas d'hier que date l'idée d'une machine à moissonner. Des appareils de ce genre, mus par des bêtes de trait, semblent avoir existé aux temps anciens; ils auraient même été fort en usage dans les Gaules, si l'on en croit Palladius. Mais la tradition s'était perdue quand J. Smith voulut la renouer, au commencement du XIX^e^ siècle, sans arriver à des résultats bien pratiques.

En 1826, le révérend P. Bell imagina, au fond de l'Écosse, une machine dont les essais furent très satisfaisants. Reprenant le principe de l'antique et informe engin des Gaulois, il en avait complètement transformé l'application. Cette machine était bien conçue mécaniquement et devait servir de point de départ à tous les types actuels de moissonneuses. Néanmoins elle ne se répandit pas et tomba dans l'oubli jusqu'en 1851.

Pendant ce temps la colonisation des États-Unis marchait à grands pas. Des terres nouvelles étaient défrichées; de vastes cultures s'établissaient dans les plaines immenses qui bordent le Mississipi et le Missouri. Mais il ne suffisait pas de semer, il fallait récolter, et récolter en temps opportun, avant que les pluies et les tempêtes parties des montagnes Rocheuses vinssent accomplir leur œuvre de destruction. La population n'étant point assez nombreuse, le but ne pouvait être atteint qu'avec des procédés de moissonnage expéditifs. Mac Cormick eut un éclair de génie et inventa de toutes pièces sa moissonneuse, sans avoir, paraît-il, aucune connaissance des essais de P. Bell. Cette fois, la découverte causa une vive sensation dans le monde agricole, parce qu'elle se produisait au moment opportun. Bientôt Wood fabriquait son admirable faucheuse. Des milliers de machines à moissonner et à faucher fonctionnèrent presque aussitôt sur le territoire des États-Unis. La guerre de Sécession fit le reste, en enlevant aux champs les hommes valides. Aujourd'hui on trouverait difficilement dans l'Amérique du Nord une ferme ne possédant pas sa moissonneuse et sa faucheuse.

Les appareils de Mac Cormick et de Wood franchirent l'Atlan-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tique, le premier en 1852, le second en 1855. Mais le vieux monde ne les adopta qu'avec lenteur. L'Angleterre prit la tête du mouvement. Quant à la France, elle se montra fort circonspecte : il y a peu d'années que sa pratique courante s'est emparée des machines à moissonner et à faucher; la statistique agricole de 1882 dénombre 19,150 faucheuses mécaniques et 16,025 moissonneuses.

Après Bell et Mac Cormick, un grand nombre de constructeurs se sont appliqués à perfectionner la moissonneuse. Dans les premières machines, un homme debout sur l'appareil faisait la javelle à l'aide d'un râteau. Bientôt cet auxiliaire disparut et la moissonneuse déposa elle-même sur le sol la récolte en javelles ou en andains. Puis on se préoccupa de réduire encore la main-d'œuvre et d'approprier davantage la machine aux pays à très vastes cultures, par le liage automatique des gerbes. Les lieuses commencèrent, dès 1873, à fonctionner dans des conditions pratiques; mais le lien était en fil de fer et l'agriculture ne voulut utiliser les moissonneuses-lieuses que lorsqu'elles employèrent la ficelle. On a vu, pour la première fois, aux essais de Noisiel (1889), une moissonneuse à lien de paille.

Beaucoup de fabricants français livrent aujourd'hui des faucheuses et des moissonneuses excellentes. Nos machines ont plus de légèreté que celles de l'Angleterre; elles n'atteignent pas le poids très réduit qui, avec le bon marché, caractérise les machines américaines.

Les *faneuses mécaniques* sont très communes en Angleterre, ainsi que cela devait être dans un pays à herbages étendus, où le climat favorise généralement si peu la dessiccation du foin et où le cultivateur doit profiter de quelques heures de soleil pour mettre sa récolte en état d'être rentrée. Des divers systèmes nés depuis le commencement du siècle, le seul qui ait été conservé est celui de R. Salmon (de Woburn) : il remonte à 1816, et les améliorations dont il a été ultérieurement l'objet n'en ont point altéré la disposition générale. Aujourd'hui la faneuse commence à entrer dans les usages de l'agriculture française; elle est appréciée à juste titre, depuis qu'on la sait

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

capable de remplacer 15 à 20 ouvriers et de permettre dans la journée le séchage du foin coupé le matin.

Devenus d'un emploi universel, les *râteaux à cheval* servent, sous tous les climats, à remuer et aérer les foins, à les réunir en tas, à ramasser au besoin les mauvaises herbes après les labours, à recueillir les tiges et épis échappés aux moissonneurs ou aux machines moissonneuses.

L'assortiment du travail mécanique des fourrages est complété par les *élévateurs de foin*, destinés au chargement ou à la mise en meule rapides. A côté d'eux se placent les *élévateurs de paille*, qui servent de complément aux machines à battre.

On a inventé de nombreux instruments pour la récolte des tubercules et des racines. La *charrue fouilleuse* Howard est très employée à l'arrachage des pommes de terre dans la Grande-Bretagne. En France, les efforts se sont portés principalement sur l'*arrachage des betteraves :* à mesure que les cultivateurs poursuivaient le développement de la matière sucrée, il y avait un intérêt croissant à récolter la betterave sans la blesser, toute blessure à la racine occasionnant une perte notable de sucre; le rapport du jury de l'Exposition de 1889 constate les grands progrès que nos constructeurs sont parvenus à réaliser.

d. *Instruments destinés à extraire, nettoyer et trier les grains et graines.* — Peu de machines agricoles sont plus répandues que la *batteuse;* elles ouvrent en quelque sorte la marche dans les pays qui veulent améliorer leurs méthodes de culture.

Il y a longtemps que des tentatives ont été faites en vue de remplacer par la machine le fléau, les anciens traîneaux ou rouleaux, et les chevaux dépiqueurs. Mais c'est seulement en 1786 que l'Écossais A. Meikle réussit à créer un bon appareil, qui servit de base aux machines modernes. La batteuse Meikle se propagea bientôt en Écosse et en Angleterre. Sur le continent, la Suède fit également preuve de beaucoup d'initiative pour le battage mécanique. Vers 1818, les premières batteuses nous arrivèrent à la fois d'Angleterre

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et de Suède et s'acclimatèrent promptement sur le sol français, surtout dans la région de l'Est, grâce à Mathieu de Dombasle.

La modification la plus considérable apportée par nos fabricants au type primitif consista dans le remplacement du *battage en bout* par le *battage en travers*. Cette modification, demandée par les agriculteurs voisins des grandes villes, permettait de conserver la paille assez intacte pour en assurer la vente facile sur les marchés; les Anglais adoptèrent eux-mêmes et perfectionnèrent le battage transversal.

Pendant de longues années nous n'avons eu que des machines fixes, et c'est encore à nos voisins d'outre-Manche que nous devons les machines portatives, destinées à battre les céréales sur place, en évitant les pertes de grains, ainsi qu'une partie des transports. Cette innovation, faite dans l'intérêt de la grande culture, profita peut-être encore plus à la moyenne et à la petite culture : partout, en effet, se créèrent des entreprises de battage, offrant au petit cultivateur un battage plus économique, plus parfait et bien plus rapide que le battage au fléau. Dès le milieu du siècle, le fléau avait presque complètement disparu de la Grande-Bretagne.

Tout d'abord les batteuses ont été mises en mouvement au moyen de manèges. Aujourd'hui la Grande-Bretagne recourt presque exclusivement à la vapeur, qui, du reste, a dès longtemps pénétré dans les fermes importantes de l'Angleterre et de l'Écosse. Ces fermes possèdent des batteuses puissantes, à grand travail, munies de *secoueurs*, de *ventilateurs*, de *cribleurs*, de *trieurs*, permettant de battre 200 à 300 hectolitres de blé par journée de dix heures, rendant le grain nettoyé et le plus souvent trié, parfois même ensaché, de telle sorte qu'il puisse aller immédiatement au marché. On considère comme plus avantageux, à tous égards, de battre rapidement la récolte et d'en réaliser le produit aussitôt après la moisson, plutôt que de différer le battage et la vente, dans l'espoir d'un cours plus élevé, mais au prix de déchets sensibles.

La France recherche aussi les puissantes machines. Nos batteuses sont quelquefois fixes, généralement locomobiles. Les manèges moteurs ont fait place, dans la plupart des cas, aux locomobiles à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vapeur; cette substitution a été activée par l'industrie du battage à façon.

C'est également aux grosses machines qu'ont recours les pays à vastes cultures de céréales, comme la Hongrie, l'Autriche, la Roumanie, la Russie méridionale, l'Australie, où la nécessité s'impose de profiter du beau temps qui suit la moisson.

Quant aux petites batteuses à manège ou à bras, parfois accompagnées de secoueurs et de tarares élémentaires, elles ne se construisent plus guère au delà de la Manche que pour l'exportation; sur le continent, on les trouve principalement chez les constructeurs français et suisses.

Certaines machines sont disposées pour battre soit des céréales, soit des graines fourragères, telles que le trèfle et la luzerne. Mais le battage de ces petites graines s'effectue à l'aide d'*égrenceuses* spéciales, auxquelles je ne puis m'arrêter malgré tout l'intérêt des prairies artificielles.

Après le battage, les grains demeurent mélangés de poussières, de menue paille, de terre, etc., qu'il est indispensable d'expulser, surtout quand ces grains sont destinés à l'alimentation.

Le *van*, puis le *crible à main*, furent longtemps les seuls instruments de nettoyage. Au commencement du siècle vint l'idée de réunir l'action d'un courant d'air à celle du crible, dans la machine appelée *tarare*. Cet appareil extrêmement simple n'a pu, eu égard à sa simplicité même, comporter des modifications importantes.

Des *criblages* et des *triages* doivent achever le travail du tarare. Les appareils affectés à ces opérations complémentaires varient suivant les pays. En France, les constructeurs accordent leurs préférences aux trieurs à alvéoles, dont l'appareil Vachon est l'un des plus anciens types. Les Anglais ont le trieur Bridgeman et le trieur Penney, qui est d'un usage à peu près constant dans les grandes batteuses britanniques.

c. *Instruments pour la préparation de la nourriture des animaux.*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'Angleterre a devancé la France dans la culture des racines et dans leur utilisation pour la nourriture du bétail. Elle devait, dès lors, créer les appareils propres à la préparation de ces aliments, les *laveurs*, qui les débarrassent de la terre adhérente, et les *coupe-racines*[1], qui les réduisent en fragments. Les machines appelées à remplir ces diverses fonctions sont aujourd'hui d'un usage courant dans l'agriculture française, grâce à la baisse de prix qui les a rendues abordables aux petits cultivateurs.

Il en est de même des *hache-paille*[2], presque inconnus en France, vers le milieu de ce siècle.

A cette catégorie d'instruments se rattache la série des *broyeurs, concasseurs, aplatisseurs,* pour grains et tourteaux. C'est à Mathieu de Dombasle que nous sommes surtout redevables de l'introduction du grain broyé ou seulement concassé dans l'alimentation des animaux

f. *Instruments destinés à la compression des fourrages.* — Le foin des prairies naturelles ou artificielles est l'aliment essentiel des animaux de ferme, des chevaux de troupe, de la cavalerie employée par les entreprises de transport. Mais il constitue une marchandise encombrante et n'a qu'une valeur trop faible pour pouvoir supporter des frais de transport quelque peu élevés. Sa compression sous un faible volume présente donc un grand intérêt au point de vue de la facilité des échanges. Elle offre en outre l'avantage de permettre l'emmagasinement économique des fourrages et leur conservation pendant un ou deux ans; elle réduit au minimum les déchets de manipulation et de route, ainsi que les chances d'incendie ou de détérioration.

Les premiers essais de compression du foin ont été entrepris par l'Administration de la guerre; puis plusieurs constructeurs se sont à leur tour occupés de la question. On a d'abord cherché à tasser le foin et même la paille dans des caisses à parois démontables; mais on s'est heurté et on se heurte encore à une grosse difficulté : la

[1] Le premier brevet pour un coupe-racines a été pris en 1834 par Gardner, de Banbury (comté d'Oxford).

[2] Le hache-paille à couteau a été imaginé par Cooke (1794) et perfectionné par Lester (1801), puis par Richmond et Chandler.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

matière se refuse à transmettre les pressions. Pour vaincre cette difficulté, il faut recourir à des artifices, opérer la compression par partie ou y joindre une torsion.

Au moment de l'Exposition de 1878 sont apparus deux types différents de machines résolvant dans une certaine mesure le problème : la presse Pilter et la presse Dederick. Depuis, certains progrès ont été réalisés; le nombre des presses exposées en 1889 témoignait de l'intérêt que l'agriculture attache à la compression du foin.

g. *Matériel des transports.* — Le matériel des transports agricoles appelle peu d'observations. Ses qualités dominantes doivent être la simplicité et le bon marché. Il varie dans des limites étendues selon les usages locaux et les aptitudes spéciales des attelages; les brouettes, les tombereaux, les charrettes, les chariots sont les principaux véhicules en usage.

Dans certains cas spéciaux, l'agriculture fait appel à des moyens perfectionnés, aux voies métalliques, aux petits chemins de fer, dont l'idée première appartient à M. Corbin et que M. Decauville a vulgarisés, en les améliorant. Les voies de ce genre ont pris un immense développement depuis 1878 et rendent de bons services dans les grandes exploitations, notamment pour la rentrée des récoltes de betteraves ou autres produits.

h. *Emploi de la vapeur dans l'agriculture.* — Voilà de longues années que toutes les fermes importantes de l'Angleterre et de l'Écosse ont des machines à vapeur : ces machines, généralement fixes chez les Écossais et mobiles chez les Anglais, actionnent non seulement les batteuses, mais aussi les hache-paille, les coupe-racines, les concasseurs, les barattes, les moulins, etc.

En France, la propagation des moteurs à vapeur paraît dater de l'adoption générale des batteuses. Comme je l'ai précédemment indiqué, le nombre des appareils à vapeur affectés aux usages agricoles était de 14,600, pendant l'année 1889.

Actuellement l'emploi de la vapeur n'est plus limité aux travaux

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de la ferme : on l'a étendu aux opérations du labour et du moissonnage.

Le labourage à vapeur, en particulier, exerce depuis près d'un siècle le génie inventif des mécaniciens. En 1810, le major Prats prit un brevet renfermant le germe de quelques-unes des applications actuelles. Deux cents ans plus tôt (1618), Ramsay avait déjà proposé le remplacement des chevaux ou des bœufs par des moteurs inanimés. Les premiers essais d'utilisation de la vapeur pour le labour portèrent sur des appareils automoteurs et rotatifs, armés de corps de charrue ou de bêches; ils demeurèrent infructueux : l'entretien d'une machine consommant la plus grande partie de sa force dans son propre déplacement coûtait beaucoup trop cher. C'est à J. Fowler que l'on doit la première disposition vraiment pratique.

Dans le système de la double machine qui fut présenté en 1852 par ce célèbre constructeur, deux locomobiles tiraient alternativement les appareils de culture à l'aide d'un câble. Fowler chercha ensuite à réduire les frais d'acquisition du matériel en se contentant d'une locomobile avec poulie de renvoi. Puis J. Howard imagina à son tour un autre dispositif à machine unique. Pourtant, lors de l'Exposition de 1878, le système à deux machines réunissait la plupart des suffrages; on le considérait comme seul susceptible de travailler dans des conditions économiques.

La culture à la vapeur ne s'est guère développée qu'en Angleterre. Vers 1878, elle y était appliquée dans un millier de fermes. En France, au contraire, nous avions à peine quatorze exploitations recourant à ce mode de labour. Le surplus de l'Europe ne comptait pas plus de 150 charrues à vapeur.

Il est certain que le travail de ces charrues donne des résultats supérieurs à ceux du labour ordinaire. Le sol se trouve remué, pulvérisé, sur des épaisseurs jadis inconnues; les couches profondes sont amenées au jour, aérées et vivifiées; on évite le piétinement du sol par les animaux. Mais la première mise de fonds est considérable, grève la culture d'un lourd amortissement et n'est dès lors admissible que pour des opérations portant sur de vastes surfaces et ne compor-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tant pas d'interruptions prolongées. Le morcellement de la propriété, les accidents du sol, le mauvais état des chemins, l'existence de nombreuses clôtures sont autant d'obstacles qui s'opposent à l'emploi facile d'un matériel encombrant. Aussi la culture à vapeur ne pouvait-elle réussir en Belgique, en France, dans l'Europe centrale, partout où la propriété est très divisée; elle devait nécessairement se cantonner dans les régions à grandes propriétés et à reliefs peu accentués, comme l'Angleterre et certaines parties de l'Allemagne, de la Russie, de la Valachie.

On peut citer un cas où l'usage des charrues à vapeur ne saurait être discutable, celui du défrichement, du défoncement de vastes surfaces qui exigeraient un nombre considérable d'animaux de trait. Tels sont, par exemple, les travaux que le duc de Sutherland entreprit, en 1873, dans ses immenses domaines d'Écosse et dont l'effet avait été, dès 1878, de rendre 5,000 hectares à la culture. Ces travaux occupaient alors 23 machines à vapeur et 400 ouvriers.

Quelques tentatives de moissonnage à vapeur ont été également entreprises. L'appareil de MM. Aveling et Porter, qui a été soumis à des expériences en 1878, permettait de moissonner 20 à 25 hectares par jour. Il comprenait une locomotive routière, une moissonneuse et une grue pour le soulèvement de cette dernière partie constitutive de la machine. Un terrain uni et résistant est indispensable au succès.

i. *Observation sur divers appareils ou instruments.* — En dehors des catégories de machines, instruments et appareils que je viens de passer sommairement en revue, beaucoup d'autres encore figurent dans le matériel des exploitations rurales. Mais le cadre de ce rapport ne me permet pas de m'y arrêter.

Deux concours ont été ouverts, pendant l'Exposition universelle de 1889, l'un pour les machines à décortiquer la ramie, l'autre pour les appareils de laiterie (écrémeuses, barattes, malaxeurs, cuves pour le caillé, réchauffeurs, réfrigérants, etc.). Il est rendu compte de ces concours dans des rapports particuliers, joints au rapport de la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

classe 49. Le rapport général contient lui-même (tome V, p. 326) des indications assez circonstanciées sur la ramie.

j. *Statistique commerciale.* — Les machines pour l'agriculture ne figurent distinctement aux relevés officiels de la douane que depuis 1857, pour l'importation, et depuis 1872, pour l'exportation. Voici quelle a été, à partir de ces dates, l'importance du commerce extérieur de la France :

PÉRIODES OU ANNÉES.	IMPORTATION.	EXPORTATION.
	francs.	francs.
1857 à 1860 ..... (Moyenne.)	270,000	//
1861 à 1870 ..... (*Idem.*)	510,000	//
1871 à 1880 ..... (*Idem.*)	4,060,000	1,580,000
1881	4,690,000	2,480,000
1882	4,210,000	2,600,000
1883	4,430,000	2,970,000
1884	3,180,000	3,000,000
1885	2,840,000	2,240,000
1886	3,230,000	2,170,000
1887	2,980,000	1,840,000
1888	2,350,000	1,980,000
1889	2,680,000	2,650,000

Nous recevons des machines de l'Angleterre, des États-Unis et quelque peu de l'Allemagne; notre exportation est dirigée sur l'Algérie, l'Espagne, l'Allemagne, la Belgique, l'Italie, la République Argentine, etc.

3. Matières fertilisantes d'origine organique ou minérale. — Le sol doit contenir les matières indispensables pour former, avec les éléments de l'air et de l'eau, le tissu des plantes et, d'une manière plus générale, tous les produits de la végétation. Parmi les substances ainsi empruntées à la terre, il en est qui y existent en abondance et ne font presque jamais défaut; d'autres, au contraire, doivent lui être restituées, pour en entretenir la fécondité. Tel est le but des engrais.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'engrais, a dit Chevreul, est le complément du sol. Cette vérité profonde a pénétré dans les campagnes, grâce à la diffusion de l'enseignement agricole.

Instruits par les travaux de Liebig, de Chevreul, de Dumas, de Boussingault, d'Hervé Mangon, de Gasparin, de MM. Lawes et Gilbert, Schlœsing, Berthelot, Isidore Pierre, G. Ville, Grandeau, Dehérain, Risler, Müntz, etc., les cultivateurs ont reconnu que l'engrais de ferme n'assurait pas suffisamment le maintien et à plus forte raison l'accroissement de la fertilité du sol. L'usage des engrais commerciaux, qui naguère n'était adopté que par un petit nombre de grands propriétaires, a successivement gagné la moyenne et la petite culture. Il y a quelques années, l'expansion de ces engrais était encore entravée par des fraudes trop fréquentes, qui décourageaient le paysan; mais l'active intervention des stations agronomiques, une législation plus sévère (loi du 4 février 1888 et règlement d'administration publique du 10 mai 1889), enfin l'institution des syndicats agricoles, ont heureusement enrayé le mal.

Les éléments principaux à restituer au sol sont l'azote, l'acide phosphorique, la potasse et la chaux. Passons rapidement en revue les engrais propres à fournir ces éléments.

a. *Engrais azotés.* — Le défaut d'*azote* est une des causes les plus communes de l'infertilité du sol. Chaque année, l'exportation des récoltes et l'infiltration des eaux en enlèvent d'énormes quantités, alors que la nature ne le donne généralement au sol qu'en faible proportion. L'apport de ce principe s'impose absolument, sauf le cas de terres tout à fait privilégiées et de cultures comme celle des légumineuses ou autres plantes à feuillage développé, qui puisent dans l'atmosphère beaucoup plus d'azote que les végétaux à feuillage grêle. Aussi voit-on l'industrie faire de constants efforts pour mettre à la disposition de l'agriculture l'azote naturellement accumulé dans des minéraux tels que les nitrates, l'azote dégagé par certaines fabrications et notamment l'azote ammoniacal, enfin l'azote des matières animales.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le *nitrate de soude*, qui existe en gisements considérables au Pérou, dans la Bolivie et au Chili, constitue l'un des engrais le plus communément employés. Aujourd'hui la France en reçoit 180,000 tonnes par an (voir page 234). Il est malheureusement soumis à toutes les fluctuations de prix d'un produit exotique, qui vient par mer et fait par suite l'objet de grosses spéculations.

On sait que la houille en combustion et les eaux-vannes des dépotoirs dégagent dans l'atmosphère des torrents d'*ammoniaque*. Cependant l'idée de recueillir ce gaz et de le fixer sous forme d'un sel facilement transportable et utilisable pour l'agriculture ne remonte pas à une époque bien éloignée.

La houille, que je viens de citer, renferme environ 1 p. 100 d'azote; sa consommation dépasse 33 millions de tonnes en France; le simple rapprochement de ces deux chiffres montre quelle quantité d'ammoniaque pourrait en être tirée. Peut-être un jour la science découvrira-t-elle un procédé simple et économique pour emmagasiner la richesse que les foyers industriels laissent s'envoler dans l'atmosphère. Actuellement on se borne à recueillir l'ammoniaque qui se dégage dans les distillations en vase clos, dans la préparation du gaz d'éclairage. Chaque tonne de houille distillée par la Compagnie parisienne donne 8 kilogrammes de sulfate d'ammoniaque et par suite l'azote de près d'un hectolitre de blé. Les progrès de l'industrie du gaz, au point de vue de l'épuration, ont puissamment contribué, depuis le milieu de ce siècle, à réduire le prix des sels ammoniacaux et à en répandre l'emploi par l'agriculture.

Quant aux eaux-vannes des dépotoirs, elles ont été longtemps perdues, comme les eaux ammoniacales du gaz, pour l'enrichissement du sol. C'est seulement vers 1855 ou 1860 qu'on a entrepris, en France, de les distiller afin d'en retirer l'ammoniaque; le nombre des usines s'occupant de cette extraction reste encore très limité.

Autrefois les *matières organiques azotées*, d'origine animale ou végétale, formaient la base des engrais industriels; toutes sortes de propriétés merveilleuses leur étaient attribuées. La science moderne a fait justice des vieux préjugés. Il résulte de ses enseignements

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

que la valeur des engrais organiques azotés réside exclusivement dans leur azote; encore les plantes ne peuvent-elles utiliser qu'en partie cet élément : pour le céder, l'engrais doit subir une décomposition qui entraîne avec elle d'inévitables déperditions. Quoi qu'il en soit, ces matières n'en constituent pas moins pour l'agriculture une ressource des plus précieuses.

Parmi les débris d'origine animale, je citerai le sang desséché, la chair, la corne, le poil, la plume, le cuir, etc. Quand ces débris s'accumulent en grandes masses, il convient de ne pas les introduire directement dans le compost, ainsi que cela se pratiquait jadis, mais de les recueillir, de les désinfecter et de les amener à l'état d'engrais riches aisément transportables. Deux perfectionnements de date récente ont été apportés au traitement des matières animales, et en particulier des déchets tels que cornes, ergots, poils, peaux, cuirs : je veux parler de la désagrégation par l'acide sulfurique et de la torréfaction par la vapeur surchauffée. Ces opérations diminuent le volume de la matière, permettent de la réduire en poudre fine et augmentent l'assimilabilité de l'azote. L'agriculture profite ainsi largement de ce qui ne trouve pas son emploi dans l'alimentation ou l'industrie.

On tire également parti des fucus et varechs rejetés par la mer, ainsi que des poissons et de leurs déchets, qui fournissent un engrais riche en azote et en acide phosphorique. La fabrication des *guanos de poissons* est florissante en Suède et en Norvège, où elle date de 1860; les poudres livrées au commerce sont très appréciées, et leur usage, très répandu en Belgique, commence à pénétrer en France.

Il semble que les produits fabriqués à l'aide des poissons frais tendent à prendre la place d'un autre produit, le *guano naturel*, qui jouissait naguère d'une vogue extrême et qui du reste était aussi formé indirectement par les débris de poissons, avec cette différence que l'estomac des oiseaux marins tenait lieu d'atelier de traitement. C'est vers le commencement du siècle que Humboldt rapporta en Europe les premiers échantillons de guano naturel; l'agriculture n'était pas encore assez avancée pour savoir profiter des avantages

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

que lui offrait cette matière, et l'importation ne s'accentua que vers 1840, époque à partir de laquelle elle suivit une marche ascendante. En 1867, l'Europe recevait plus de 350,000 tonnes de guano, dont 200,000 à destination de l'Angleterre et 50,000 à destination de la France; la valeur correspondante dépassait 100 millions. On évaluait l'exportation totale, en 1869, à 550,000 tonnes. Mais, dès 1870, les meilleurs dépôts, ceux des îles Chinchas, se trouvaient épuisés; la qualité du guano importé devenait irrégulière, en même temps qu'un appauvrissement se manifestait dans le titre en azote. De nombreuses plaintes ne tardèrent pas à s'élever et des falsifications honteuses contribuèrent à jeter sur le produit un commencement de défaveur; il fallut le traiter par l'acide sulfurique, afin de le rendre plus friable et d'en garantir le titre. La fabrication du guano dissous et du guano pulvérisé fut bien accueillie et prit un développement considérable. Cependant les guanos naturels, qui avaient tenu une grande place à l'Exposition de 1878, ont manqué presque complètement à celle de 1889. L'abaissement du titre en azote, joint à l'essor des engrais chimiques, relativement bien moins coûteux, paraît avoir fait cesser l'engouement dont l'agriculture s'était pris pour les guanos, aux débuts de leur importation. D'après les statistiques de la douane, le mouvement des entrées est descendu à 7,390 tonnes, en 1889, et à 5,000 environ, en 1891.

Pas plus que les guanos de poisson, les guanos naturels ne sont des engrais exclusivement azotés. Bien qu'il en constitue la principale valeur, l'azote est souvent accompagné de quantités importantes d'acide phosphorique.

Il en est de même des *tourteaux* de graines oléagineuses, dont l'emploi, soit comme aliment du bétail, soit comme engrais, progresse rapidement. Les tourteaux provenant des graines oléagineuses importées ont le mérite d'amener sur notre sol des éléments de fécondité pris dans de lointains pays.

b. *Engrais phosphatés.* — Des divers engrais jugés nécessaires pour compléter l'action du fumier de ferme, aucun n'a gagné plus de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

terrain que les phosphates, pendant ces dernières années. Un grand nombre de régions, en effet, ne contiennent pas assez d'acide phosphorique; dans les terres granitiques, par exemple, l'apport des phosphates est indispensable à la fertilité du sol.

Les *os* constituaient autrefois l'unique source connue d'engrais phosphatés. Bien que la découverte des phosphates minéraux ait réduit leur rôle, on les emploie encore à l'état de *poudre d'os*, de *superphosphate d'os* ou de *noir animal*. En 1878, l'Angleterre importait plus de 100 millions de kilogrammes d'os de tous les points du globe; la poudre d'os y est d'un usage courant, et les *os dissous* ou les *engrais d'os*, faits avec des os dégraissés, jouissent toujours d'une grande faveur. Chez nous, les os servant de matière première à deux industries rémunératrices, celles de la gélatine et du noir animal, entrent peu dans la consommation agricole, simplement dégraissés et concassés; l'agriculture n'utilise plus guère le noir animal, qui jadis lui fournissait tout son phosphate de chaux; mais les résidus laissés par la fabrication de la gélatine donnent une poudre fine dont l'usage est très répandu, malgré la concurrence des phosphates minéraux.

Si l'on n'avait d'autre ressource que les os, l'emploi agricole des phosphates de chaux serait nécessairement limité. Mais la découverte des phosphates de chaux fossiles ou *phosphates minéraux* est venue heureusement mettre à la disposition des cultivateurs une source pour ainsi dire intarissable d'acide phosphorique. En 1842, le professeur anglais Henslow appelait l'attention sur le phosphate de chaux fossile des comtés de Suffolk et de Cambridge; il conseillait de traiter les nodules par des acides, afin de les transformer en phosphates solubles et de les rendre ainsi utilisables comme engrais; presque aussitôt E. Packard appliquait industriellement le procédé de laboratoire et fondait la première fabrique de superphosphate de chaux (vers 1843). Sur le territoire français, la première extraction régulière de nodules a été organisée en 1855 dans les Ardennes, à la suite des premières indications données, dès 1852, par M. Meugy, puis des découvertes de M. de Molon. L'année suivante, une usine à pulvériser les phosphates fossiles entrait en fonctionnement, et M. de Molon,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

continuant ses recherches, signalait les vastes gisements de coprolithes, qui se trouvent dans le grès vert, à la base de notre formation crétacée, et dont l'exploitation industrielle fut immédiatement entreprise avec activité.

A partir de ce moment, la recherche des gîtes s'est fiévreusement poursuivie; des dépôts ont été trouvés dans presque tous les pays; la France, l'Espagne, l'Allemagne, la Russie, la Belgique sont très abondamment pourvues. Les étages géologiques les plus différents, même les terrains primitifs (en Norvège et au Canada), fournissent leur contingent; toutefois le terrain crétacé paraît être le grand réservoir d'acide phosphorique; la craie phosphatée occupe en effet d'immenses espaces. Cette craie n'ayant qu'une teneur assez faible de phosphate, la France l'exploite peu; en Belgique, dans le bassin de Mons, où elle forme de vastes et puissantes assises, on s'est attaché à l'enrichir, afin de la rendre transportable et propre à la fabrication des superphosphates : des indications recueillies lors de la dernière exposition porteraient à croire que les Belges ont réussi.

Souvent il suffit de réduire les phosphates naturels en poudre fine avant de les confier au sol, qui se charge de les rendre solubles et par conséquent assimilables. Dans d'autres cas, notamment pour les phosphates cristallisés, on doit soumettre la matière à un traitement chimique, la désagréger ainsi plus complètement qu'au moyen de la meule et en mieux assurer l'efficacité. L'industrie a répondu à ce besoin par la fabrication des superphosphates et des phosphates précipités. Primitivement la France regardait l'emploi des acides comme une dépense inutile; aussi est-ce en Angleterre et en Allemagne que les superphosphates ont pris naissance. Mais l'usage de ces produits s'est bientôt répandu chez nous et tend à s'y propager de plus en plus, par suite des tendances de la culture intensive, qui désire rentrer au plus vite dans ses déboursés et préfère l'action rapide des superphosphates à l'action lente des phosphates naturels; l'énorme accroissement de la consommation a d'ailleurs amené une forte diminution du prix de revient.

La récente découverte du procédé de déphosphoration de la fonte

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

par MM. Thomas et Gilchrist est venue doter l'agriculture d'une nouvelle source d'acide phosphorique, sous la forme de *scories de déphosphoration* ou *phosphates métallurgiques.*

c. *Engrais potassiques.* — Après l'azote et l'acide phosphorique, la potasse est ce qui importe le plus aux végétaux cultivés. Pendant longtemps, cette substance a été exclusivement demandée aux cendres de bois et au granite en décomposition. M. Balard avait bien établi la possibilité d'obtenir des sels de potasse par le traitement des eaux mères des marais salants; mais on reculait devant une exploitation industrielle. La découverte de bancs épais formés par du chlorure double de potassium et de magnésium, à la surface des couches de sel gemme dans les mines de Stassfurt, a livré aux cultivateurs l'élément de fécondité qu'ils recherchaient; l'agriculture en a largement usé, notamment pour la betterave. Plus récemment des gîtes d'une puissance supérieure à celle des bancs de Stassfurt ont été trouvés à Aschersleben (Prusse). Les mélasses, vinasses et eaux d'osmose provenant du traitement de la betterave, ainsi que les eaux de désuintage des laines, apportent aussi leur contingent de sels de potasse.

Il ne s'est point créé pour ces sels un marché comparable à celui des phosphates. En effet beaucoup de terres cultivées renferment assez de potasse pour que l'apport de cet élément soit jugé inutile.

d. *Engrais calcaires. Plâtre.* — L'utilisation de la chaux et de la marne comme amendements dans les pays à sol argileux ou siliceux est sanctionnée par une longue expérience. Ces substances sont très communes et peu coûteuses. Leur exploitation n'a jamais qu'un caractère local; aussi figurent-elles fort peu aux expositions.

On trouve sur certains points du littoral de la Bretagne et de la Normandie des sables fins constitués par un mélange très ténu de coquilles marines et de débris granitiques ou schisteux. Ces sables, dénommés *tangues* ou *trez*, suivant les cas, s'emploient en grande quantité sur les terrains granitiques de la Bretagne.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Au même genre d'amendements se rattache le *merl*, formé par le carbonate de chaux que sécrètent certaines algues marines et auquel s'ajoutent des coquilles mortes ou vivantes.

Quant au plâtre, dont l'action a été rendue célèbre par Franklin, il est devenu d'un emploi courant dans la culture des légumineuses. Nous possédons, aux environs de Paris, la mine la plus puissante qui soit connue.

e. *Engrais composés.* — L'industrie prépare un grand nombre d'engrais composés, obtenus par le mélange, en proportions diverses, d'engrais simples azotés, phosphatés, potassiques. Elle se propose de doter ainsi chaque plante des matériaux nécessaires à son développement.

Quelquefois les éléments de cette fabrication sont eux-mêmes des produits complexes, par exemple des matières de vidange ou des déchets d'animaux, que l'on transforme en engrais pulvérulents et concentrés.

Je viens de parler des déjections. Parfois elles s'emploient à l'état frais : c'est ce que l'on appelle l'*engrais vert* ou *flamand*, utilisé notamment dans le Nord et la Provence. Mais, le plus souvent, elles subissent des manipulations qui en assurent la conservation et le transport. La concentration des vidanges s'opère, soit en séparant les matières solides des liquides par décantation, soit en éliminant la plus grande partie de l'eau par évaporation et dessiccation, soit en faisant absorber la partie liquide par des substances poreuses telles que paille, tourbe, tan épuisé, noir animal, poussier de charbon, etc. Autrefois on croyait pouvoir fabriquer des engrais pulvérulents et riches à l'aide des seules déjections; depuis, il a été reconnu qu'au cas où l'emploi de ces déjections n'est pas possible à l'état frais, mieux vaut les enrichir de sels ammoniacaux, de phosphates, et les faire entrer ainsi comme matière première dans la composition d'engrais concentrés et complets.

f. *Statistique commerciale.* — Voici comment se résument les états

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

statistiques de la douane, depuis 1827, pour les matières qui y sont portées sous la rubrique *Engrais :*

PÉRIODES OU ANNÉES.	GUANOS.		AUTRES ENGRAIS.	
	IMPORTATION.	EXPORTATION.	IMPORTATION.	EXPORTATION.
	francs.	francs.	francs.	francs.
1827 à 1830..... (Moyenne.)	//	//	540,000	143,000
1831 à 1840..... (*Idem.*)	//	//	690,000	172,000
1841 à 1850..... (*Idem.*)	270,000	//	810,000	153,000
1851 à 1860..... (*Idem.*)	8,000,000	89,000	1,620,000	353,000
1861 à 1870..... (*Idem.*)	24,540,000	640,000	2,510,000	1,360,000
1871 à 1880..... (*Idem.*)	24,800,000	4,370,000	5,610,000	4,030,000
1881.....	4,210,000	4,890,000	7,550,000	6,090,000
1882.....	2,260,000	4,090,000	9,175,000	6,420,000
1883.....	355,000	3,130,000	9,340,000	7,140,000
1884.....	19,910,000	2,360,000	9,220,000	7,020,000
1885.....	46,000	5,970,000	11,120,000	6,810,000
1886.....	1,030,000	5,610,000	14,430,000	6,600,000
1887.....	408,000	5,080,000	17,090,000	8,370,000
1888.....	136,000	1,940,000	18,030,000	8,820,000
1889.....	1,479,000	470,000	24,890,000	6,330,000

Nous recevons le guano du Pérou et les autres engrais de la Belgique, de l'Angleterre, de l'Allemagne. Quant à l'exportation, elle est principalement dirigée vers la Belgique, la Suisse, l'Allemagne, l'Italie, l'Algérie, l'Espagne, etc.

En dehors des matières dénommées *engrais* au tarif général des douanes, il en est beaucoup d'autres qui sont employées à la fécondation du sol et qui néanmoins ne figurent pas sous cette dénomination dans les statistiques, parce qu'elles sont pour la plupart, sinon toutes, susceptibles d'autres emplois (chaux, os, chiffons de laine, sulfate d'ammoniaque, carbonates et chlorures alcalins, produits chimiques divers, phosphates de chaux, etc.).

4. Génie agricole. — Il n'est guère de pays au monde, que la question d'aménagement des eaux n'intéresse au plus haut degré.

Prévenir les inondations, assainir le sol par des drainages ou des desséchements, le féconder par l'irrigation ou le colmatage, développer la force motrice des chutes d'eau mises au service de l'industrie, ré-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pandre la circulation en améliorant les voies fluviales, en multipliant les canaux, telle est dans son ensemble l'œuvre immense et vitale confiée à la science et à l'habileté des ingénieurs. Bien conduite, cette œuvre peut changer la face de la terre, éviter des désastres, reculer les limites du domaine assigné à l'homme par la nature, lui assurer de vastes conquêtes sur le désert, accroître le rendement du sol, semer l'aisance et la richesse.

Les exemples abondent pour montrer quel dommage incalculable une mauvaise distribution des eaux peut infliger à l'agriculture. En Hongrie, d'immenses plaines d'une extrême fertilité sont alternativement désolées par les inondations ou par la sécheresse. Les contrées méridionales de la Russie, drainées par de grands fleuves, n'attendent leurs récoltes que des hasards de l'atmosphère. Au delà des Pyrénées, l'Espagne, que le relief et la nature de son sol favorisent si merveilleusement, pourrait, en continuant l'admirable tradition des Arabes et en tirant parti des rivières, transformer des régions stérilisées par le manque d'eau. L'Égypte verra doubler sa fortune, quand elle aura développé son système d'arrosage et rendu à l'agriculture les bras aujourd'hui employés au puisage de l'eau dans le Nil. Sans quitter la France, nous y trouverions encore bien des maux à prévenir ou à réparer, beaucoup d'améliorations à réaliser; il est juste toutefois de reconnaître que l'utilisation des eaux est un fait accompli, sur les points où elle se présentait dans les conditions les plus favorables, et que les opérations du même genre restant à exécuter demandent de la prudence, appellent des études attentives au point de vue économique.

Actuellement les opérations d'aménagement des eaux sont réparties, chez nous, entre deux départements ministériels : celles qui touchent aux fleuves et rivières navigables, aux canaux de transport, aux travaux de défense contre les inondations appartiennent au Ministère des travaux publics; les autres, qui constituent plus spécialement l'hydraulique agricole, ressortissent au Ministère de l'agriculture. Les opérations de cette seconde catégorie doivent seules nous arrêter ici.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

a. *Irrigations.* — On sait à quel degré de perfection les peuples anciens poussèrent l'art d'utiliser les eaux, quelle fut l'importance de leurs travaux d'irrigation.

La splendeur et la puissance des empires d'Assyrie et de Perse sont contemporaines de gigantesques canalisations. Sémiramis avait tracé cette belle inscription qu'Alexandre trouva aux frontières de la Scythie : « J'ai contraint les fleuves de couler où je voulais, et je n'ai voulu que « là où il était utile; j'ai rendu féconde la terre stérile en l'arrosant « de mes fleuves ». Les institutions qui protégeaient l'usage des eaux étaient alors confondues avec le culte religieux; elles constituaient un pouvoir supérieur à celui du prince et avaient le sanctuaire pour asile. Ces monuments du génie humain disparurent avec l'antique civilisation qui leur avait donné naissance et dont ils formaient l'une des plus solides assises.

Si de ces temps reculés nous passons aux temps modernes, en franchissant l'œuvre des Romains et celle des Maures d'Espagne, nous rencontrons l'entreprise hardie des Anglais dans les Indes. Un canal dérivé du Gange, à sa sortie des monts Himalaya, emprunte à ce fleuve les sept huitièmes de son débit d'étiage, c'est-à-dire près de 200 mètres cubes par seconde, pour les porter sur le Doab, province de 4 millions d'hectares, peuplée de 6 millions d'habitants. La création de ce fleuve artificiel, sorte de Gange de l'art, a eu pour résultat de transporter la navigation sur les faîtes du Doab, de la soustraire à toutes les irrégularités de régime dont elle souffrait dans les bas fonds de la vallée, et d'ouvrir une alimentation perpétuelle à l'arrosage d'une immense région.

La Lombardie nous offre un témoignage éclatant des bienfaits de l'irrigation, en même temps qu'un modèle utile à méditer et à suivre.

Dans ces dernières années, les travaux n'ont pas eu la même importance : ce sont, en général, des dérivations prises à des points peu élevés, livrant passage à de faibles volumes et n'arrosant que des surfaces relativement restreintes.

Sur le sol de la France, les canaux d'arrosage se sont multipliés durant ce siècle, surtout depuis cinquante ans. Aux canaux du XVI^e^ siècle,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

comme ceux d'Arles et de Craponne, sont venus se joindre les canaux de Carpentras, de Marseille, du Verdon, de la Bourne, de Pierrelatte, de la Neste, de Saint-Martory, du Forez, etc. Ces artères débitent de 100 à 120 mètres cubes par seconde et dominent plus de 250,000 hectares; les superficies effectivement arrosées et même les surfaces utilement arrosables restent toutefois bien en dessous de ce chiffre. Nous attendons toujours le grand canal dérivé du Rhône.

L'irrigation n'a pas pour but unique de fournir à la plante son eau de constitution, de lui livrer en outre du liquide en surabondance qu'elle évaporera, et d'accroître ainsi l'activité de la végétation en même temps que le rendement et la qualité des produits. Elle apporte les matières fertilisantes qui y sont contenues, qui s'y sont dissoutes au contact du sol et des engrais. L'arrosage a également rendu d'inappréciables services pour la submersion des vignes et la défense contre le phylloxera; une entreprise particulièrement intéressante, à ce point de vue, est celle des canaux de submersion du département de l'Aude, qui ont été établis depuis 1880 et qui, moyennant une dépense de 4 millions rapportant à l'État 4.90 p. 100 sous forme de redevance, ont sauvé le revenu territorial de 6,000 hectares.

b. *Utilisation des eaux d'égout.* — L'action fertilisante des irrigations est singulièrement accrue quand on y emploie des eaux d'égout, riches en résidus de la consommation humaine. Aujourd'hui l'utilisation de ces eaux et la question corrélative de l'assainissement des fleuves et rivières, au voisinage des grandes villes, sont partout à l'ordre du jour, et l'on s'étonne à juste titre de ce que tant d'éléments de fécondité aient été si longtemps gaspillés et perdus, au grand détriment de l'hygiène et de l'agriculture.

Dans tous les pays, les centres importants de population se sont créés et développés sur le bord des cours d'eau, par suite des avantages que leur offraient ces masses sans cesse renouvelées du liquide le plus indispensable à la vie. Mais, par leur extension même, par le nombre toujours croissant de leurs habitants, par les progrès de la salubrité intérieure, les villes ont contribué les premières à altérer la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pureté des fleuves qui les traversent : aujourd'hui les eaux de lavage, les détritus de toute origine sont jetés en masse dans les égouts, et ceux-ci créent dans leur exutoire une infection permanente. L'anecdote du Parlement anglais chassé, il y a une trentaine d'années, de ses salles de séance par les exhalaisons méphitiques de la Tamise est devenue classique.

Un progrès réalisé dans la plupart des grandes villes consiste à intercepter par de vastes collecteurs les eaux dont le déversement s'effectuait jadis sur tout le parcours du fleuve au travers de l'agglomération. C'est une œuvre à laquelle le regretté Belgrand a attaché son nom pour notre belle cité parisienne.

Cependant les eaux impures ainsi concentrées et rejetées de la ville allaient reporter sur la banlieue des causes intolérables d'infection. L'intérêt de la salubrité publique, la justice et l'équité commandaient de poursuivre l'assainissement au débouché des collecteurs, de ne pas aggraver la condition des habitants d'aval et même de l'améliorer. D'ailleurs la concentration du mal permettait d'y apporter plus facilement un remède, qui eût été impossible avec le système des bouches d'égout multiples. On songea à utiliser pour la culture les eaux corrompues, mais fertilisantes, dont jusqu'alors la plus large part se perdait à la mer, tandis que, sagement employées, elles auraient fait surgir comme par enchantement de beaux jardins maraîchers ou des herbages plantureux.

Milan, Londres, Édimbourg donnèrent l'exemple. Puis la ville de Paris, grâce aux travaux persévérants de MM. Mille et A. Durand-Claye, fit réparation à l'agriculture du tort qu'elle lui causait en déversant chaque année dans la Seine ses 100 millions de mètres cubes d'eaux d'égout. Les résultats merveilleux obtenus à Gennevilliers ont récemment déterminé les pouvoirs publics à autoriser l'extension du champ de déversement sur le territoire d'Achères, non loin de Saint-Germain.

La ville de Reims est entrée dans la même voie, et la Compagnie des eaux-vannes présentait à l'Exposition de 1889 le plan des travaux qu'elle a exécutés pour l'épuration et l'utilisation agricole des eaux d'égout de cette ville.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

c. *Desséchements.* — Parmi les travaux d'aménagement des eaux, il en est d'autres encore qui constituent un bienfait à la fois pour la salubrité publique et pour l'agriculture : ce sont les travaux ayant pour objet d'assainir les terrains marécageux et de les rendre à la culture. Toujours la salubrité marche de pair avec la civilisation, et, au fur et à mesure que celle-ci se développe, on voit aussi se multiplier les entreprises de desséchement.

La Hollande, dont le sol se trouve en grande partie de 1 mètre à 5 mètres au-dessous de la mer, fournit l'exemple d'anciens et nombreux desséchements. Vers le milieu du XVI^e^ siècle, elle avait déjà conquis sur les eaux 25,000 hectares, et la superficie desséchée depuis cette époque atteint presque 200,000 hectares. Une des opérations les plus importantes a été la poldérisation du lac de Harlem (19,000 hectares), effectuée de 1840 à 1852. Un projet plus grandiose, celui des travaux de desséchement du Zuyderzée, est à l'étude.

A peine est-il nécessaire de rappeler le desséchement des Moères et des Wateringues, dont les premiers essais remontent à plusieurs centaines d'années, mais qui n'a été achevé qu'au cours de ce siècle.

En Angleterre, les desséchements ont une certaine importance. Ils portent sur 350,000 hectares au moins et se font soit par machines, soit par écoulement continu ou intermittent. Pour les terrains dont le niveau était inférieur à celui des eaux environnantes, on s'est longtemps servi de moulins à vent, comme en Hollande; ces anciens moteurs ont disparu pour faire place à des machines à vapeur; divers appareils élévatoires tels que les écopes se sont d'ailleurs substitués aux vis hollandaises.

Vers 1880, l'État ou les particuliers avaient desséché 570,000 hectares en Italie. Le desséchement du lac Fucino, situé à 110 kilomètres au sud-est de Rome et présentant une superficie de 65,000 hectares (50,000 hectares de marais et 15,000 à 16,000 hectares de lac proprement dit), compte parmi les travaux les plus remarquables exécutés à une époque récente. Les Romains avaient déjà tenté un desséchement partiel; mais l'émissaire souterrain, ouvert sous le règne de Claude par les soins du fameux affranchi Narcisse, ne tarda pas à se combler

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et le lac reprit ses allures changeantes, semant la fièvre autour de lui. C'est au prince Torlonia que revient l'honneur du succès définitif; son œuvre gigantesque, entreprise en 1854, a été menée à bonne fin avec le concours d'ingénieurs éminents, au nombre desquels M. de Montricher.

Des opérations considérables de desséchement, dans l'est de l'Europe, méritent également d'être citées. A l'Exposition de 1878, le Ministère des domaines de Russie exposait le plan des travaux en cours dans les marais de Polésie (vallée du Dniéper); la surface couverte par ces marais dépassait 3 millions d'hectares. En Hongrie, des associations locales sont arrivées à de très heureux résultats en combinant des opérations d'assainissement et d'endiguement; sur une étendue submersible de 2 millions d'hectares, les quatre cinquièmes étaient déjà assainis et défendus contre l'invasion des eaux, avant 1880.

Il y a une dizaine d'années, la France comptait encore près de 200,000 hectares de marais; la superficie desséchée depuis la loi du 16 septembre 1807 était évaluée à 68,000 hectares. Les opérations les plus importantes ont consisté en assainissements généraux, tels que ceux de la plaine du Forez, du plateau de la Dombes, des Landes de Gascogne. Un succès complet a couronné les efforts des ingénieurs. C'est ainsi que la vie moyenne, qui dépasse ordinairement trente-neuf ans, mais qui était tombée à vingt-cinq ans trois mois dans 21 communes de la Dombes, et qui descendait même à quatorze ans deux mois dans la commune la plus maltraitée, s'est immédiatement relevée, au point d'atteindre presque la durée normale; les fièvres paludéennes ont pour ainsi dire entièrement cessé; la production agricole a augmenté dans d'énormes proportions et la culture s'est emparée des terrains où l'humidité la rendait impraticable.

Le rapport de M. Risler (classe 49) fournit des indications détaillées sur l'opération récente du desséchement des marais de Fos (4,500 hectares).

d. *Colmatage.* — Dans certains cas, on parvient à opérer le dessé-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

chement par l'action de l'eau elle-même, en provoquant le dépôt des matières dont elle est chargée. C'est le *colmatage* ou la *poldérisation*, suivant qu'il s'agit d'eau douce ou d'eau salée.

En France, des colmatages ont été réalisés au moyen des eaux de l'Isère, du Var, de l'Arve, du Rhône, de la Durance (canaux de Craponne). Le poids du limon charrié annuellement par la Durance est évalué à 18 millions de tonnes (11 millions de mètres cubes). Une opération ayant pour objet d'employer ce limon au colmatage de la Crau et de compléter ainsi l'œuvre d'Adam de Craponne devait être récemment entreprise par une compagnie concessionnaire; elle a été abandonnée.

Les travaux d'endiguement de la Basse-Seine ont déterminé le colmatage de vastes espaces. Près de l'estuaire, l'étendue gagnée sur les marais ou sur le lit du fleuve s'est élevée à 8,600 hectares, valant 21 millions et demi.

e. *Poldérisation.* — J'ai déjà rappelé l'importance des polders hollandais, qui sont, à la vérité, conquis par simple endiguement, sans intervention de colmatage par l'eau de mer. L'Angleterre a 700,000 hectares ainsi endigués.

On évalue à 100,000 hectares la superficie que la France pourrait conquérir sur le littoral. Jusqu'ici les efforts se sont concentrés en trois points : la baie du Mont Saint-Michel, la baie des Veys et la baie de Bourgneuf.

f. *Drainage.* — Le drainage a pour but d'assurer l'écoulement de l'eau qui se trouve en excès dans le sol, tout en y maintenant un état convenable d'humidité. Du même coup, il provoque la circulation et le renouvellement de l'air indispensable aux racines des plantes.

Son origine remonte à une haute antiquité, comme l'attestent les rigoles à pierrées dont parlent plusieurs auteurs anciens et les petites galeries souterraines retrouvées aux environs de Rome.

Olivier de Serres indiqua dans ses ouvrages, au XVII^e^ siècle, les conditions que devaient remplir les tuyaux de drainage. A une époque

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

plus rapprochée, Elkington fit en Angleterre des applications nombreuses de ce mode d'assainissement et obtint du Parlement une récompense nationale de 25,000 francs. Mais ce fut seulement vers 1846 que le drainage prit une réelle importance, quand Smith, de Deanston (Écosse), eut mis en lumière les facilités de culture et les accroissements de récoltes susceptibles d'être réalisés par un bon drainage en tuyaux de terre cuite. Le mouvement s'accentua encore dans les Îles Britanniques, à la suite de l'abrogation des lois sur les céréales, et la France suivit bientôt cet exemple.

Une loi du 10 juin 1854 institua, au profit des propriétaires qui draineraient leur fonds, le droit de faire passer leurs eaux sur les propriétés inférieures. Deux autres lois du 17 juillet 1856 et du 28 mai 1858 organisèrent en leur faveur un système de prêts remboursables par annuités; le montant total des avances pouvait atteindre 100 millions. Malheureusement un excès de formalités rendit ces dernières dispositions peu efficaces, et les sommes empruntées au Crédit foncier restèrent sensiblement au-dessous de 2 millions [1]. Cela n'empêcha pas le drainage de se développer, grâce aux efforts et aux ressources de l'initiative privée, qui sut arriver au but sans le secours du crédit public. Dès 1878, plus de 100,000 hectares avaient été fructueusement drainés en France. On évalue à 15 p. 100 la plus-value moyenne des terres ainsi améliorées.

L'ouverture des tranchées à l'aide d'instruments à bras constitue le procédé le plus répandu. Cependant il existe en Angleterre et aux États-Unis de puissants appareils à vapeur, des excavateurs, des charrues sous-sol pour l'ouverture des rigoles et même pour la pose des tuyaux.

[1] Le nombre des prêts du Crédit foncier a été de 81 et leur montant total de 1,767,000 francs, dont 1,063,000 francs pour Seine-et-Marne, 222,000 pour Indre-et-Loire, 79,000 pour le Loiret, 60,000 pour la Nièvre, 51,000 pour l'Allier, 41,500 pour le Cher, 40,000 pour la Haute-Loire, 38,000 pour la Meuse, 30,000 pour l'Eure, 25,000 pour la Sarthe, 22,000 pour la Marne et le surplus pour 14 autres départements. Quant à la contenance des gages, elle s'est élevée à 8,520 hectares environ, sur lesquels 4,880 hectares en Seine-et-Marne.

Au 31 décembre 1890, les remboursements atteignaient 1,512,000 francs.

De l'origine à la même date, l'État a payé une somme totala de 305,000 francs pour le service des prêts.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

5. Matériel et procédés des exploitations forestières [1]. — a. *Sylviculture.* — Les modes principaux d'*exploitation* des bois sont le *taillis simple*, la *futaie* et le *taillis composé* ou *taillis sous futaie.*

De ces trois méthodes, la première, celle du *taillis*, est fondée sur la reproduction des arbres par les rejets de souche et les drageons. Elle consiste à couper les arbres par le pied et à attendre que les rejets aient acquis des dimensions convenables, pour les couper à leur tour ; on appelle *révolution* l'intervalle compris entre deux exploitations successives. Souvent certains arbres réservés ou *baliveaux* ne sont abattus qu'à la fin de la deuxième révolution. Le régime des taillis peut avoir des effets désastreux au point de vue de la dégénérescence des arbres : certaines essences, comme le hêtre, repoussent difficilement de souches; d'autres essences précieuses, comme le chêne et le charme, bien que rejetant plus facilement des souches, résistent mal à la fréquence des exploitations et risquent d'être étouffées par les bois blancs et les morts-bois à croissance rapide. En outre, le taillis expose le sol à l'action desséchante du soleil et des vents, c'est-à-dire à la perte de ses qualités végétatives et à l'appauvrissement, faute d'une couche suffisante d'humus qui exige, pour sa formation, le concours de l'humidité, de la chaleur et d'un air calme. L'envahissement des bois blancs est combattu avec succès au moyen de nettoiements; des exploitations rez-terre, des semis et des plantations dans les clairières assurent convenablement la perpétuation des essences précieuses. On rencontre surtout le régime du taillis dans les forêts particulières, qui sont soumises à d'incessantes mutations, par suite des partages, des licitations, etc., et dont les propriétaires ne peuvent d'ailleurs ou ne veulent engager des capitaux importants dans l'exploitation, en ménageant des arbres de réserve.

Les taillis aménagés sont divisés en coupes qui s'exploitent successivement. Quand la forêt est assez grande pour comprendre autant de coupes qu'il y a d'années dans la révolution, l'exploitation se fait annuellement; sinon, elle sera biennale, triennale, etc. La durée de

[1] Voir *supra*, page 52, le chapitre consacré aux produits des exploitations et des industries forestières.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la révolution dépend d'ailleurs de la nature du sol, du climat, des essences dominantes, des débouchés locaux; elle dépasse rarement vingt années; il importe de ne pas la réduire à l'excès, afin de ménager les souches, et de ne pas l'accroître non plus outre mesure, pour conserver aux souches leur puissance reproductive.

Dans le système du *taillis sous futaie*, un certain nombre d'arbres réservés parmi les plus vigoureux sont maintenus lors de la coupe et parcourent plusieurs révolutions. Cette méthode mixte convient aux établissements publics, aux communes, qui, tout en constituant des propriétaires impérissables, dans leurs rapports avec l'Administration des forêts, doivent cependant compter avec certains besoins éventuels. Elle peut même convenir à l'État, en ce que, pour des circonstances particulières de sol, d'essences, etc., elle assure le revenu le plus avantageux. Comme la méthode du taillis simple, la méthode du taillis sous futaie favorise l'envahissement du sol par les bois blancs et tend à l'appauvrir; le choix, la fixation du nombre et la distribution des réserves offrent d'ailleurs quelques difficultés. Ici encore, l'œuvre de la nature appelle comme complément des semis et des plantations.

Le système de la futaie, destiné à l'éducation des bois de grandes dimensions, est tout indiqué pour les forêts de l'État, sans parler des bois résineux qui ne se prêtent pas au taillis. Il a pour base la faculté que possèdent tous les arbres de se reproduire au moyen de graines. On traite les futaies, soit par le *réensemencement naturel et les éclaircies*, soit par le *jardinage;* l'ancien procédé à *tire et aire* a été abandonné et les coupes à *blanc-étoc* se pratiquent rarement.

Avec le réensemencement naturel, on opère trois coupes successives de *régénération :* la coupe d'*ensemencement*, qui réserve assez d'arbres pour garnir le sol de graines; une coupe *secondaire*, destinée à éclaircir le massif sans trop le dégarnir; enfin la coupe *définitive*, qui dégage le peuplement de toutes les réserves. Ces opérations débarrassent progressivement les jeunes plants du couvert qui les gênerait et les soumettent par degrés aux influences atmosphériques. Ensuite viennent des coupes d'*amélioration* (*nettoiements* et *éclaircies*), faisant disparaître les brins dominés, les bois blancs inutiles au main-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tien du massif et les morts-bois. L'exploitation ne doit pas commencer avant que les arbres donnent de bonnes graines ; d'autre part, elle ne doit point être ajournée jusqu'au dépérissement : c'est entre ces deux limites qu'on fixe la révolution, de manière à tirer le meilleur parti des bois.

La méthode du réensemencement naturel suppose que chaque *affectation* sera repeuplée complètement pendant la *période* de régénération. Mais cette hypothèse est loin de toujours se réaliser. Il faut y pourvoir par des repeuplements artificiels et spécialement par des plantations, dont le succès est mieux assuré que celui des semis; ces repeuplements permettent d'introduire dans les forêts les essences qu'il est utile d'y propager, et empêchent la formation des clairières.

Quant au *jardinage*, c'est un système d'exploitation consistant à enlever çà et là dans toute la forêt les arbres les plus âgés, les bois viciés, secs ou dépérissants, et même les bois bien venants que réclament les besoins du commerce. Il ne donne pas le moyen de régulariser la consistance et la végétation des massifs ; mais ses avantages pour les propriétaires de petites forêts empêche de le proscrire. On l'emploie dans les forêts de montagne, partout où la méthode du réensemencement naturel et des éclaircies ne peut donner de bons résultats. Du reste, il s'impose dans certains cas, notamment pour les forêts de défense, qui croissent à des altitudes élevées et où des arbres vigoureux doivent être maintenus en tout temps.

On *repeuple* les terrains dégarnis de bois à l'aide de *semis*, de *plantations*, de *boutures* ou de *marcottes*, suivant la nature du sol et l'espèce d'arbres à y introduire.

Les semis s'emploient dans les terrains pierreux, dans les terres légères garnies de bruyères courtes et peu serrées; ils conviennent pour les essences à tempérament robuste dont la graine est à bas prix, ainsi que pour celles dont les plants sont fortement enracinés et difficiles à extraire comme à mettre en terre avec leurs longues racines. Dans les terrains compacts, couverts d'herbe et exposés au

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

soleil, la plantation présente de réels avantages; elle est seule praticable pour les vides de faible étendue. Peu d'essences comportent le repeuplement par boutures. Le marcottage, par les soins qu'il exige, appartient au domaine de l'horticulteur plutôt que du forestier.

Tantôt le semis se fait *en plein;* tantôt il s'effectue *par bandes* ou encore *par potets*. Dans le premier cas, le sol est cultivé à la charrue ou à la houe; on se sert aussi de tridents en fer pour ameublir les terrains légers. Les semis par bandes nécessitent l'ouverture de petits sillons à la charrue ou à la houe. C'est ce dernier instrument qui est employé pour la préparation des semis par potets.

Les plantations demandent une certaine expérience. Il faut ménager les racines et leur chevelu. On recourt souvent à la bêche pour l'arrachage; les trous ou potets sont creusés au moyen du même outil, ou plutôt au moyen de la houe; quant aux cultures, elles peuvent se faire à la houe. J'aurais à parler ici des pépinières; mais, afin d'éviter les répétitions, je me réserve d'aborder le sujet à propos du groupe de l'horticulture.

En général, les outils du sylviculteur sont fort simples. Quelques-uns viennent d'être mentionnés incidemment. Les autres, tels que plantoirs, fourreaux destinés à mettre en terre les jeunes plants, semoirs, scies à main, scies à vapeur pour couper les troncs d'arbres, etc., n'appellent pas d'explications particulières.

Au matériel d'exploitation il est naturel de rattacher les chemins et les routes indispensables à la mise en valeur des forêts. L'ouverture de ces voies de transport présente souvent de grosses difficultés dans les régions montagneuses.

Sur les points de ces régions, auxquels les voitures ne peuvent accéder, le transport des bois se pratique sur des *glissoirs* ou par des chemins de *schlitte*. Il y a des glissoirs naturels, rigoles creusées par les eaux et soumises à quelques redressements, et des glissoirs artificiels, constitués par des pièces de bois que l'on relie de façon à former un canal ouvert. Les chemins de schlitte sont des sentiers en travers desquels se placent des *ravetons* maintenus par des piquets; le bûche-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ron fait glisser sur ces traverses un traîneau léger, dont il modère la descente, en le retenant par deux brancards recourbés et en appuyant successivement les pieds sur chaque raveton.

b. *Fixation des dunes.* — Dans l'énumération des divers travaux propres à augmenter notre domaine forestier, j'ai déjà indiqué la fixation des dunes (tome VI, page 59). Il ne me reste qu'à donner quelques renseignements techniques sur cette intéressante catégorie d'opérations.

Les dunes sont des monticules de sable qui existent le long de la mer et qui sont tantôt fixes, tantôt mobiles sous l'influence du vent. Elles couvrent, en France, près de 110,000 hectares. Leur cheminement atteint quelquefois des vitesses prodigieuses; suivant M. A. Durand-Claye, on a constaté près de Dunkerque des progressions moyennes de 430 mètres par an; elles ont envahi des ports, englouti des villages, couvert même une ville anglaise. Une conséquence indirecte de leur mouvement est la formation d'étangs et de marais, par l'interruption de l'écoulement des eaux.

En 1787, l'illustre Brémontier, ingénieur des ponts et chaussées, démontra par des expériences décisives que les dunes de Gascogne pouvaient être fixées au moyen de semis de pin maritime. Pour protéger les reboisements à l'arrière du littoral, il imagina de recouvrir les semis avec des branchages et de faire filer les sables à l'aide de cordons en fascinages. Ce procédé si simple fut couronné d'un plein succès et décida l'exécution de travaux qui permirent de récupérer d'immenses espaces et qui régénérèrent notamment le pays entre la Gironde et l'Adour.

Le sable des dunes est calcaire en Normandie, quartzeux dans les Landes, mixte en Bretagne. Cette différence se répercute nécessairement sur le choix des cultures; mais, considérés au point de vue de leurs principes, les travaux présentent, pour tout le littoral, la plus grande analogie. En Gascogne, par exemple, ils comprennent l'établissement de lignes et cordons de défense, la constitution d'une dune littorale, le creusement de canaux par les vents, des semis protégés.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les lignes et cordons de défense sont formés de clayonnages, de branches fichées dans le sol, de palissades en madriers; ce sont également des palissades, peu à peu exhaussées, qui servent à constituer une dune littorale assez haute pour ne plus être franchie par les sables. Quant à la protection des semis, on l'obtient par une couverture en branches coupées, par des touffes de gourbet (*Arundo arenaria*), par des aigrettes de genêt, de bruyères ou de branches de pin.

c. *Mise en culture des landes.* (*Renvoi.*) — L'une des plus belles opérations de peuplement a été la mise en culture des landes de Gascogne, due à M. Chambrelent.

Cette opération ayant été déjà citée, page 60, avec les indications qu'elle comportait, je m'abstiens d'y revenir.

d. *Restauration des terrains en montagne.* — La loi du 4 avril 1882, succédant à celles du 28 juillet 1860 et du 8 juin 1864, a pour objet l'extinction des torrents, la régularisation du régime des cours d'eau, la restauration et la conservation des terrains en montagne (voir *supra*, page 63).

Trois parties bien distinctes se présentent dans le cours d'un torrent. Au sommet est un vaste amphithéâtre, un entonnoir, dit *bassin de réception,* où les eaux affouillent, se chargent de détritus, entraînent des pierres et souvent des blocs de très grandes dimensions. Le bassin de réception aboutit à un goulot, qui se continue par une *gorge* ou *canal d'écoulement;* ce canal descend vers la vallée entre des parois généralement abruptes et très élevées; les eaux y produisent peu ou point d'affouillement, mais n'y forment pas non plus de dépôts. Enfin, à la base, se trouve le *cône de déjection,* constitué par l'accumulation progressive des matériaux qui sont descendus du bassin de réception.

Le cône de déjection est caractéristique des torrents. Son profil longitudinal affecte ordinairement la forme d'une courbe concave vers le ciel. Presque toujours, les eaux, continuant leur chemin en ligne

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

droite à la sortie de la gorge, suivent l'arête culminante du cône; mais elles y sont dans un état d'équilibre instable et divaguent avec une extraordinaire mobilité.

Comme l'avait établi Surell, dans sa belle et éloquente *Étude sur les torrents des Hautes-Alpes*, le seul moyen efficace de combattre les torrents consiste à diriger l'attaque sur la source même où ils prennent naissance, c'est-à-dire sur le bassin de réception. Il faut reboiser ce bassin, en fixer le sol, le mettre en état de résister à l'action dévastatrice des eaux. Le reboisement n'a pas seulement pour effet de consolider le sol; il modère aussi et régularise le débit: une partie de l'eau pluviale est absorbée par l'humus ou retenue par les feuilles et par les racines.

Mais le reboisement ne peut porter immédiatement ses fruits; les jeunes plants provenant des semis ou des plantations seraient impuissants à protéger le sol et risqueraient eux-mêmes d'être rapidement déchaussés. D'autres mesures s'imposent pour assurer le développement de la forêt et pour consolider le bassin de réception, en attendant que les arbres soient capables d'agir efficacement. Tout d'abord le terrain doit être mis en état de défens, c'est-à-dire interdit aux moutons qui le piétinent et le désagrègent, en même temps qu'ils détruisent toute végétation. Puis on procède en beaucoup de cas à un *enherbement*, par des graines fourragères d'un tempérament robuste et d'une pousse rapide: cette opération coïncide avec les semis et les plantations, ou les précède. Néanmoins on opère le plus souvent par plantations directes.

Seul le reboisement ne suffirait pas. Il est indispensable de prévenir tout affouillement dans les thalwegs. On y parvient à l'aide de barrages, de clayonnages longitudinaux et transversaux, de talutages, de plantations sur les berges. En avant des barrages et des clayonnages transversaux, les matières charriées constituent des dépôts à profil longitudinal d'équilibre; le lit s'exhausse, s'élargit, prend la forme d'un gigantesque escalier, sur lequel les eaux coulent de cascade en cascade, sans pouvoir acquérir une vitesse excessive. Les défenses longitudinales font le reste. Ces travaux doivent être exécutés

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

non seulement sur la branche mère, mais encore sur les ravins secondaires, tertiaires, etc., sur les filioles de dernier ordre; toutefois leur importance varie avec celle du thalweg. Suivant leur étendue, leur hauteur, leur situation, les barrages sont en maçonnerie hydraulique, en maçonnerie à pierre sèche, en bois; généralement ils reçoivent en plan une convexité vers l'amont. Dans chaque espèce, le forestier doit étudier attentivement les ressources locales et en tirer tout le parti possible; en pareille matière, les types, les règles absolues ne sauraient être de mise: seuls les principes et le but à atteindre restent invariables. M. P. Demontzey a écrit, sur le reboisement et le gazonnement des montagnes, un ouvrage qui fournit, à cet égard, des indications aussi sages que savantes.

Les travaux que comporte le canal d'écoulement sont très simples; ils se réduisent au déblaiement des blocs qui l'obstruent et à leur rangement en digues latérales.

Quant aux opérations susceptibles d'être exécutées sur le cône de déjection, elles ont exclusivement le caractère de palliatifs et consistent, par exemple, à prévenir les divagations du torrent au moyen d'un exhaussement des bourrelets, à curer le lit, à établir progressivement, de l'aval vers l'amont, des barrages retenant les graviers, etc.

Parmi les funestes effets des cônes de déjection, il en est un particulièrement désastreux: je veux parler de l'envahissement du cours d'eau. La vallée se ferme; un lac prend naissance. Plus tard, la digue se rompt, et la masse d'eau accumulée roule détruisant tout sur son passage. La ville de Grenoble a failli être emportée, au XIII^e^ siècle, par la rupture d'une digue ainsi constituée sur la Romanche, en amont de Vizille. Contre de tels désastres, le seul remède préventif est l'extinction du torrent.

L'Administration forestière a placé sous les yeux du public, en 1889, des documents du plus haut intérêt, qui mettaient bien en lumière la nature et l'importance de l'œuvre patriotique poursuivie conformément à la loi du 4 avril 1882.

Trois belles vues dioramiques représentaient le torrent du Bourget,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'un des premiers dont on ait entrepris l'extinction dans le département des Basses-Alpes; le torrent du Riou-Bourdoux, qui est considéré comme le plus redoutable des Alpes françaises; enfin la Combe de Péguères, près de Cauterets, où ont été exécutés de si dangereux et si remarquables travaux.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE III.

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DES USINES AGRICOLES ET DES INDUSTRIES ALIMENTAIRES[1].

1. Meunerie. — De toutes les industries qui concourent à l'alimentation de l'homme, la meunerie est incontestablement la plus ancienne. C'est aussi la plus importante, puisque, pour l'Europe seule, elle représente un mouvement commercial de 20 milliards. Il suffit d'ailleurs, pour apprécier son rôle, de remarquer qu'à l'exception du riz toutes les céréales destinées à la nourriture humaine doivent être préalablement réduites en farine.

Jadis les peuples européens employaient près de la moitié de leurs céréales à préparer des pâtes, des bouillies ou des gâteaux de farine. Cet usage disparaît progressivement au fur et à mesure que se développent la civilisation et le bien-être, pour ne laisser subsister que la transformation rationnelle de la farine en pain.

Le pain de blé constitue aujourd'hui l'aliment essentiel et donne lieu à une consommation toujours croissante. En France, par exemple, la ration moyenne annuelle est passée de 118 à 200 kilogrammes, pendant la dernière période de soixante années. La qualité du pain n'a du reste cessé de s'améliorer.

Il fut un temps où le pain bis avait une nombreuse clientèle. Maintenant les pauvres comme les riches veulent du pain blanc. Ce pain, les boulangers ne peuvent le produire qu'en pétrissant une farine pure, exempte des débris de l'enveloppe et du germe. Aussi les meuniers ont-ils été contraints de perfectionner leur matériel et leurs procédés. Né en Hongrie, le mouvement s'est étendu dans le monde

[1] Voir *infra*, quatorzième partie, *Produits alimentaires.*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

entier, et la dernière Exposition a fourni le témoignage éclatant d'immenses progrès.

Une révolution profonde s'est accomplie dans les allures de la meunerie. Le travail à façon des petites usines ne disposant que d'une force motrice limitée et d'un mécanisme primitif perd chaque jour du terrain. Au lieu de faire moudre ainsi le blé qu'ils ont récolté, nos paysans préfèrent le vendre au marché, et achètent de la farine ou même du pain tout fabriqué; ils y trouvent un bénéfice et ont de meilleurs produits. Peu à peu, la mouture s'est concentrée entre les mains d'un plus petit nombre d'industriels, mettant à profit les immenses ressources de l'outillage moderne, remplaçant au besoin les forces hydrauliques par la machine à vapeur, assignant à leurs établissements la position la plus favorable au transport de la matière première et de la matière travaillée. C'est ainsi que le Royaume-Uni qui, en 1852, possédait 36,000 moulins pour 18 millions d'habitants, en compte seulement 4,750 aujourd'hui pour 26 millions d'habitants.

Quelques minoteries contemporaines ont une énorme capacité de production : telles sont celles de Buda-Pesth en Hongrie, de Minneapolis aux États-Unis, d'Odessa en Russie. Dans la banlieue de Paris, on peut citer les moulins de Corbeil, à côté d'autres fort nombreux, mais de moindre importance relative. Marseille et ses environs ont vu s'élever un groupe de belles usines alimentées par les blés du Levant et de la mer Noire.

Grâce à la somme d'intelligence et d'efforts dépensés au cours de ce siècle, la profession de meunier et celle de constructeur d'appareils de meunerie se sont relevées dans l'opinion publique.

La mouture du blé est devenue une véritable science, complètement dégagée de la routine, des vieux préjugés, des pratiques surannées et vicieuses, que Parmentier et Cadet de Vaux combattirent avec tant de persévérance vers la fin du siècle dernier. Elle doit cette rénovation aux sages avis des savants, et spécialement des chimistes qui avaient étudié le blé dans sa composition et dans sa structure intime.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pour mesurer l'espace franchi, jetons rapidement un coup d'œil rétrospectif sur les trois opérations principales de la minoterie : le *nettoyage des grains*, la *mouture* et le *blutage*.

a. *Nettoyage des grains.* — Les grains, tels que la culture les livre au meunier, sont toujours mélangés de corps divers qu'il importe d'éliminer avant la mouture : ce sont des insectes, des cryptogames, des parcelles de terre, des pierres, des grains étrangers, toutes matières plus grosses ou plus petites, plus lourdes ou plus légères que le bon grain. On doit également faire disparaître les grains maigres et avortés, enfin débarrasser le bon grain de son germe et de sa barbe.

Ce nettoyage précède nécessairement la réduction en farine : en effet la bluterie n'est point disposée pour la séparation des impuretés, une fois qu'elles se trouvent dans un état de division semblable à celui des parties farineuses.

Une belle et bonne farine ne saurait s'obtenir d'un blé mal nettoyé. C'est là un point si important que l'examen des appareils de nettoyage d'un moulin permet de préjuger la valeur de ses produits. La série de ces appareils a reçu de nombreux perfectionnements.

Il y a une centaine d'années, l'outillage destiné à nettoyer le grain était des plus sommaires : un émotteur, quelquefois un ventilateur-cribleur, constituaient tout l'assortiment. Cependant l'agriculture, manquant de machines, livrait aux moulins des blés fort impurs.

L'invention des tarares agricoles, vers le début du siècle, marqua un premier progrès, mais sans corriger complètement l'insuffisance du nettoyage à la ferme. Plus tard, l'amélioration s'accusa avec les batteuses mécaniques; le travail du batteur enlève une notable partie de la poussière adhérente au grain et se complète en général par celui du tarare, dont presque toutes les batteuses sont actuellement pourvues. Bon nombre de ces machines poussent même plus loin le nettoyage et classent le grain par grosseur avant son envoi à la minoterie.

Quelque parfaites que soient les manipulations à la ferme, le blé

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fourni par le cultivateur doit en subir de nouvelles au moulin, pour s'isoler des matières que le nettoyage agricole aurait été impuissant à éliminer et de celles qui ont pu s'y ajouter pendant le transport.

La séparation des mottes, des pierres, des grains légers, de la balle, du paillon, de la poussière, etc., s'effectue au moyen d'émotteurs, de ventilateurs, de cribleurs, de trieurs, etc.

Parmi les appareils de criblage et de triage, les uns sont basés sur la différence de poids spécifique des matières mélangées et les autres sur la différence de grosseur et de forme. Ceux de la première catégorie se ramènent à deux types classiques, l'épierreur Josse et le tarare-aspirateur ou tarare américain. Déjà vieux d'une trentaine d'années, l'épierreur Josse se compose d'une table à secousses inclinée et munie de chicanes; il permet d'enlever les corps plus denses, comme la pierre. Le tarare-aspirateur, qui élimine au contraire les corps plus légers, est connu depuis longtemps dans toute l'Europe; mais il a été transformé par un Américain, M. Childs, et vulgarisé en France par MM. Rose frères, qui l'ont très sensiblement amélioré à partir de 1865.

Quant aux cribles et trieurs fondés sur la différence de grosseur et de forme, ils dérivent soit du crible ordinaire à tamis ou à tôle perforée, soit du trieur à alvéoles de Vachon. Les cribles proprement dits, plans, prismatiques ou cylindriques, sont aptes à éliminer tous les corps d'un diamètre supérieur ou inférieur à celui du grain; au point de vue historique, je citerai les cribles rotatifs de Pernollet, qui datent de 1849. Mais le blé émotté et criblé garde encore des graines de même diamètre transversal : la séparation mécanique de ces graines a été réalisée par le trieur à alvéoles de Vachon; lors de son apparition, vers 1841, ce trieur fut considéré à bon droit comme l'une des inventions les plus utiles tant pour l'agriculteur que pour le meunier; le principe sur lequel il repose est universellement appliqué.

Aucun des appareils de nettoyage à sec que je viens d'énumérer n'enlève ni la poussière adhérente au grain de blé, ni le germe, ni la barbe. Pour ce dernier objet, il faut recourir à la ramonerie ou co-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

lonne à tôle-rape, dont tous les moulins sont aujourd'hui munis. C'est un Français de Metz, M. Nicéville, qui construisit les premiers nettoyages à colonne. La ramonerie à tôle-râpe, seul organe de nettoyage capable d'enlever le germe et la barbe du blé, conserva longtemps la forme cylindrique; en imaginant de lui donner une forme conique, M. Touaillon fils put rapprocher les surfaces de la partie mobile et de l'enveloppe, et remédier ainsi à l'usure qui émousse les aspérités de ces surfaces. Depuis une vingtaine d'années, beaucoup de constructeurs remplacent les tôles-râpes par des toiles métalliques, sur lesquelles le frottement du grain est plus doux, ou, mieux encore, substituent à la colonne intérieure un arbre garni de palettes hélicoïdales : ils évitent ainsi d'arracher l'enveloppe du blé et de déterminer des rousseurs ou piqûres.

La ramonerie n'atteignant pas d'une manière suffisante la poussière logée dans la rainure du grain, son œuvre se complète par un brosseur cylindrique vertical; actuellement la combinaison de la colonne avec la brosse jouit d'une grande faveur. Ces deux appareils ont pour auxiliaire un tarare puissant. Certains spécialistes préconisent des machines à brosser le blé par simple frottement des grains les uns contre les autres, afin d'éviter la percussion violente contre les parois métalliques, si nuisible aux blés tendres. Mais il est permis de concevoir quelques doutes sur l'efficacité de cette méthode.

On doit éviter, en général, de décortiquer le grain par un nettoyage trop énergique : la mouture en souffrirait.

Quand le blé est trop sec, on le mouille avant la mouture. Cette opération se fait tout naturellement dans les laveuses, par lesquelles passent les blés très sales et souillés de terre, comme le sont ordinairement ceux des Indes, du Levant et de la mer Noire. Pour les blés propres qui ne sont point soumis au lavage, beaucoup de meuniers se servent d'une vis mouilleuse. Le mouillage, utile non seulement aux blés durs, mais encore aux blés tendres récoltés pendant les années sèches, donne un son large, plat et bien nettoyé.

Avant d'arriver au broyage, le grain nettoyé glisse sur un appareil magnétique, dont le but est d'arrêter les clous et les pointes qui

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

seraient restés dans la masse. Il subit aussi l'action d'un classeur, lorsque la mouture a lieu au cylindre; l'emploi de cet appareil ne paraît pas indispensable pour la mouture par meules.

b. *Mouture.* — A l'origine, l'homme en était réduit à concasser le blé d'abord entre des pierres plates, puis dans des mortiers en pierre dure, au moyen de lourds pilons. Jusqu'à leurs conquêtes en Asie, les Romains ne connurent pas d'autre procédé; ils se servaient de pilons en bois armés de clous, et plus tard de pilons très lourds, à base hémisphérique, auxquels un mécanisme fort simple imprimait le mouvement voulu.

Ensuite vinrent les meules de pierre en forme de sablier, et enfin les petites meules cylindriques de même matière, que des esclaves, des femmes ou des hommes de peine faisaient tourner l'une sur l'autre et dont certains passages de la *Bible* et d'Homère semblent attribuer l'invention aux Égyptiens. Ces meules à bras sont encore en usage dans certains pays arriérés. Pendant le dernier siège de Metz, il fut question de les ressusciter.

Quand les notions de mécanique se furent quelque peu développées, on songea à installer des manèges ou à tirer parti des forces hydrauliques pour actionner des meules de plus grandes dimensions. Vitruve cite comme parfaitement connus de son temps les moulins à eau : ses indications, malheureusement sommaires, sont certainement relatives à des moulins établis en pleine rivière, ou moulins à nef. Les moulins à écluses naquirent sans doute quelques siècles après : ils étaient déjà nombreux en Italie et dans les Gaules, au v^{e} siècle de l'ère chrétienne.

L'Inde et la Perse ont eu, de temps immémorial, des moulins à vent. D'après une opinion assez accréditée, ces moulins se seraient répandus en Europe à la suite des premières croisades; mais il paraît probable que les régions septentrionales en possédaient déjà à une époque beaucoup plus reculée.

Diverses découvertes faites en France portent à croire que les grandes meules de nos ancêtres, les Gallo-Romains, dérivent des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

meules à bras employées par les Romains. L'angle des cônes atteignait alors 140 degrés; on était sur la voie des meules horizontales, où la conicité ferait place aux rayures.

Au commencement du XVIII^e^ siècle, les procédés de mouture devaient être encore des plus barbares : Parmentier affirme, en effet, qu'en 1709 le setier de blé, pesant 240 livres, ne fournissait pas plus de 90 livres de farine. « Faut-il s'étonner, ajoute-t-il, si les disettes « étaient si fréquentes, et si les animaux, auxquels on donnait à « manger les gruaux, regorgeaient de nourriture lorsque les hommes « n'avaient pas de pain? »

La *mouture économique,* consistant à repasser les gruaux dans les meules, fut un réel progrès. Pratiquée par les Romains, décrite en 1616 par l'Allemand Müller, usitée à Paris dès le XVI^e^ siècle, elle ne commença néanmoins à se répandre qu'à partir de 1760. Trente ans plus tard, en 1789, son domaine était encore peu étendu. A cette époque, régnait la *meule française,* produisant une *mouture à la grosse* plus ou moins ronde. Les pierres étaient très ouvertes, très lourdes, généralement à surface lisse; le rayonnage rationnel apparaissait à peine dans les moulins.

De sérieuses transformations se produisirent pendant les premières années du XIX^e^ siècle. La mouture du blé par les meules n'a cessé depuis de se perfectionner, pour atteindre son maximum d'amélioration, il y a une vingtaine d'années.

C'est vers 1817 que la *mouture basse* se propagea en France, sous le nom de *mouture américaine.* Économique et rapide dans l'exécution, elle apportait au travail patriarcal de la meunerie une amélioration sensible, qui la fit préférer à la mouture ronde ou demi-ronde auparavant en usage. La méthode nouvelle comportait la substitution de meules rayonnées d'un diamètre de 1 m. 30 aux meules anciennes de 6 pieds, le rapprochement de ces meules de manière à écraser tout le blé d'un seul coup et à produire le moins de gruaux possible, l'accroissement de la vitesse de rotation. En même temps, la machine à vapeur pénétrait dans les usines, pour les maintenir en activité quand la pénurie des eaux empêchait les moteurs hydrauliques de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fonctionner régulièrement; ces moteurs eux-mêmes se perfectionnaient. Après avoir réalisé ces importantes modifications, la meunerie française adopta la *bluterie*, puis les appareils propres au nettoyage rapide et satisfaisant des grains.

Grâce aux nouveaux engins de nettoyage et de blutage, aux excellents mécanismes de nos grandes minoteries, au mode ingénieux de rhabillage des meules, les Darblay, les Truffaut, les Rabourdin arrivèrent à produire des farines remarquables par leur homogénéité et leur blancheur, malgré les qualités variables des blés dont elles provenaient, et à asseoir solidement le bon renom de notre meunerie.

Cependant, si habile qu'il fût, le meunier ne pouvait, en soumettant le grain à l'action brusque et vive des meules de pierre, éviter de moudre partiellement l'enveloppe et le germe avec l'amande farineuse. Ces débris, mêlés à la farine d'où les bluteries et les sasseurs étaient impuissants à les extraire, exerçaient une influence fâcheuse sur la qualité du pain.

Les inconvénients du broyage entre les meules de pierre avaient depuis longtemps frappé les constructeurs et les ingénieurs; de nombreuses tentatives s'étaient succédé pour le remplacement du vieil engin traditionnel par des engins à surfaces mieux appropriées, notamment par des cylindres métalliques.

Dès 1818, un Français, nommé Bérard, mit à l'essai des cylindres en fonte; mais, au bout de quelques mois, il dut rétablir ses meules et limiter le rôle des cylindres à la compression du grain avant mouture.

En 1823, l'Américain John Collier moulait le blé avec des cylindres en métal dur, comme l'établit la description de son procédé dans le livre d'Olivier Evans (Philadelphie, 1826).

L'ouvrage *Meunerie, boulangerie, biscuiterie* de M. Touaillon fils cite un M. Benoist, de Saint-Denis, qui fit pendant trente années la mouture à gruaux au moyen d'un cylindre en pierre meulière tournant dans une portion de cylindre de même matière. Un système analogue était employé, il y a vingt-cinq ans, en Allemagne, et l'idée a

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

été reprise par M. Wegmann, de Zurich, qui exposait en 1878 un procédé de mouture par cylindres en porcelaine.

Il semble donc bien certain que l'emploi des cylindres en meunerie est loin d'être nouveau. D'ailleurs, avant l'invention de l'épierreur Josse et de la laveuse de blé, avant la réalisation des nombreux perfectionnements apportés aux appareils de nettoyage à sec, nos meuniers se servaient de cylindres comprimeurs en fonte durcie, pour préparer à la mouture les blés durs et pierreux; ils agissaient de même à l'égard des blés tendres, dans les années humides, afin de s'opposer à l'empâtement des meules.

Néanmoins la France avait peu à peu délaissé les cylindres, tandis qu'à l'étranger, et spécialement en Hongrie, ces appareils étaient de plus en plus usités, soit seuls, soit conjointement avec les meules.

Longtemps stériles, les tentatives de mouture par cylindres seuls aboutirent enfin à un succès incontestable. En 1840, un grand moulin de Pesth (Hongrie) appliquait déjà de la manière la plus heureuse les procédés de mouture progressive, par passages successifs entre divers jeux de cylindres métalliques; il produisait d'excellentes farines, complètement débarrassées de l'enveloppe et du germe, et possédant, par suite, des qualités exceptionnelles de conservation.

Malgré cette preuve manifeste de leur valeur, les engins métalliques ne se vulgarisèrent pas aussi promptement qu'on aurait pu le supposer. Il y a vingt ans, le nombre des moulins à cylindres restait encore assez limité. A ce moment, la situation changea tout à coup et les appareils métalliques, auxquels on n'avait jusqu'alors accordé qu'une médiocre attention, devinrent l'objet d'une faveur méritée. Leur emploi se répandit dans l'Autriche-Hongrie, en Allemagne, en Angleterre, aux États-Unis. Dans le rayon de Buda-Pesth, par exemple, la proportion des appareils à cylindres aux paires de meules, qui, en 1867, ne dépassait pas 40 p. 100, passa, en 1878, à 93 p. 100.

A cette dernière date, la France n'avait qu'un moulin à cylindres, celui de Rouen. Confiants dans l'ancienne renommée de leurs produits, nos meuniers ne croyaient pas devoir admettre le procédé hongrois à réductions multiples, qu'ils jugeaient défectueux par sa complication

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et incompatible avec les tendances de la consommation française. On s'explique facilement leurs hésitations. En effet la minoterie hongroise produisait des farines de toutes qualités, depuis la farine-fleur jusqu'à la farine bise; la farine-fleur, qui n'entrait du reste dans le rendement total que pour une faible proportion, était exportée, tandis que les basses farines, représentant 60 p. 100 environ du produit, avaient leur débouché dans le pays même. Cette division en farines diverses pouvait-elle convenir dans un pays où tous les consommateurs voulaient du pain blanc? Quel serait l'emploi des basses farines en France? Comment diversifier les qualités de la farine pour les différentes classes de la société, alors que les usages de l'alimentation du peuple français imposaient aux produits de la mouture une sorte d'égalité démocratique? Fallait-il abandonner la mouture plate, si avantageuse à ce point de vue, puisque, sur 100 kilogrammes de blé, elle arrivait à donner 68 kilogrammes de farine propre à la fabrication du pain blanc?

Tous ces arguments ne devaient pas tenir devant les faits. Bientôt on vit affluer sur les marchés des grandes villes, principalement sur le marché parisien, de belles farines étrangères, qu'immédiatement la boulangerie de luxe acheta, de préférence aux farines indigènes. Nos produits, jusqu'alors si réputés, perdirent en même temps leur clientèle hors de France. En moins de dix ans, notre exportation tomba de 2,500,000 quintaux à 750,000, alors que l'importation montait de 45,000 quintaux à plus de 500,000.

C'était un désastre. La Chambre syndicale des grains et farines de Paris, profondément émue d'une telle situation, n'hésita pas à entreprendre une grande expérience industrielle; elle mit en concurrence, avec un moulin à meules de pierre, huit moulins modernes de systèmes divers et leur livra un égal approvisionnement de blés identiques. Cette épreuve convainquit les plus incrédules et leva tous les doutes : la France devait suivre le mouvement qui s'était accentué à l'étranger. Une fois leur résolution prise, nos meuniers en poursuivirent avec ardeur la réalisation; ils firent appel aux constructeurs français et étrangers pour hâter la transformation de leurs usines.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Aujourd'hui nous avons plus de 1,500 moulins dans lesquels les meules de pierre ont été remplacées par les cylindres; nos grands établissements et nombre de moulins plus modestes emploient exclusivement le nouvel outillage.

Au début de la lutte, on avait cherché à établir une sorte d'accommodement entre les deux systèmes, à faire vivre côte à côte les deux antagonistes. Le système mixte des meules en pierre combinées avec les appareils métalliques de désagrégation et de purification procurait une notable économie, en permettant de conserver une partie de l'ancien matériel. Il eut son heure de vogue, mais ne put subsister. La mouture basse par les meules continue à être de plus en plus délaissée.

Avec cette mouture disparurent aussi la simplicité dans le montage et l'économie dans l'installation. L'outillage s'est compliqué, dans le but de traiter le grain avec plus de douceur et de lenteur. Tout se tenant dans cet outillage, les progrès accomplis pour une des phases du travail en appellent nécessairement d'autres; la transformation commencée en un point du moulin s'étend inévitablement à l'ensemble. L'arsenal minotier est donc actuellement fort encombré; mais les machines se réduisent, en définitive, à quelques types principaux, dont nos constructeurs ont exposé de remarquables spécimens en 1889.

Les cylindres ne sont pas les seuls appareils qui aient engagé la bataille contre les meules. Vers 1870, l'industrie a tenté l'emploi des broyeurs. Tout d'abord ce fut l'appareil Carr, à axe horizontal, dont les organes essentiels étaient deux plateaux métalliques munis de broches en acier et tournant l'un sur l'autre en sens contraire avec une grande vitesse. D'autres broyeurs vinrent ensuite, basés sur le même principe, mais ayant leur axe placé verticalement.

Ces appareils, utilisés primitivement pour une mouture intermédiaire entre la mouture basse et la mouture ronde ou à gruaux, l'ont été aussi ultérieurement pour le repassage des gruaux. Ils exigent au moins autant de force que les meules en pierre ou les cylindres; leur action sur le blé paraît un peu brutale.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

c. *Blutage et sassage.* — En l'état où elle sort des meules, la boulange comprend des farines terminées ou suffisamment affleurées; des gruaux, c'est-à-dire des parties de l'amande du blé dont la division n'a pas été poussée assez loin; enfin des sons de différentes dimensions. Le blutage a pour objet de séparer et de classer ces produits.

Dès le temps de Moïse, les Juifs offraient, dans leurs cérémonies religieuses, des gâteaux préparés avec de la fleur de farine, ce qui implique un blutage.

Au début, tout l'outillage se composait de tamis en jonc, en crin, en peau perforée de trous, que l'on secouait à la main. Quand augmentèrent les exigences des consommateurs relativement à la blancheur et à la pureté de la farine, il fallut recourir à des tissus blutants plus serrés en laine, en chanvre, en lin, en soie.

Dans les moulins à eau ou à vent, le mécanisme qui faisait tourner les meules fut disposé de manière à actionner en même temps les tamis. A cette époque, la meunerie employait des bluteaux lâches ou des bluteaux frappants, sortes de sacs recevant des mouvements saccadés; sous l'action des secousses et des chocs, le son, devenu très fin, traversait en partie l'enveloppe et se mêlait ainsi à la farine.

Après divers perfectionnements, apparut le bluteau cylindrique tournant, formé d'une carcasse sur laquelle était tendu le tissu blutant; des marteaux ou des battes frappaient alternativement l'appareil pour détacher la boulange que la force centrifuge tendait à coller contre le tissu. C'est à cette classe de bluteaux qu'appartient le *bolting-mill* des Anglais.

En 1785, Drancy imagina les bluteries prismatiques inclinées, dans lesquelles la boulange est entraînée par adhérence et retombe brusquement, en descendant un peu à chaque tour. Ces bluteries sont encore très employées; leur principal défaut est de ne point fournir assez de travail : la surface travaillante de la soie ne dépasse pas le quart de la surface totale.

Les bluteries à brosses occupent moins de place et leur travail est plus rapide; mais on leur reproche d'être brutales et de donner

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des farines mélangées de sons fins : en effet la brosse pousse la boulange contre le tissu tamisant et l'action est forcée. Il faut remonter assez loin pour en trouver l'origine. Dès 1686, l'Anglais John Finch imaginait une bluterie composée d'un cylindre en toile métallique, à l'intérieur duquel tournaient de longues brosses parallèles à l'axe. En 1765, John Mile construisait un appareil analogue pourvu de brosses disposées suivant des hélices. Vers 1829, John Smith, de Bradford, créait une bluterie sensiblement différente : le cylindre en toile métallique était légèrement incliné et tournait avec une faible vitesse, tandis qu'au dedans un batteur à brosses poussait la boulange contre la toile blutante et qu'au dehors d'autres brosses maintenaient ouvertes les mailles de la toile.

A Londres, en 1851, M. Shore exposa un appareil assez semblable au précédent, mais où la brosse tournante intérieure était remplacée par un batteur à ailettes animé d'un mouvement très rapide, qui agitait vivement la boulange et la projetait contre la surface tamisante. Ce fut l'apparition de la bluterie centrifuge. Ashby exposait en même temps une bluterie centrifuge à axe vertical. Les bluteries de ce système pénétrèrent, il y a trente ans, en Allemagne, et un peu plus tard aux États-Unis; chez nous, leur introduction ne date que de douze ans et elles commencent à se répandre. La perte de surface travaillante est bien moindre dans ces appareils que dans les bluteries cylindriques ou prismatiques, ce qui permet d'en réduire les dimensions; elles donnent un travail rapide; mais le blutage reste forcé. Aussi les perfectionnements ont-ils été dirigés vers la douceur du travail; on a rendu les ailettes plus légères, incliné les palettes, pris en un mot toutes les dispositions nécessaires pour que la boulange projetée atteigne le tissu presque sans vitesse; à défaut de ces améliorations, la bluterie centrifuge aurait échoué.

La bluterie cylindrique semble actuellement gagner du terrain, parce que le blutage n'y est pas forcé et que la masse n'y reçoit pas de chocs pouvant aplatir la farine ou briser le son et en provoquer le passage au travers du tissu; son unique inconvénient étant d'exiger de grandes surfaces, on cherche à y remédier depuis quelques années

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

en augmentant la production par unité superficielle au moyen d'élévateurs qui remontent la farine pendant la marche : c'est ce qui se fait aux États-Unis, où la bluterie prismatique est progressivement abandonnée. Quant aux bluteries à brosses, elles ne paraissent pas en faveur, à cause de la brutalité de leur action; on les utilise pour le curage des sons, opération dont se préoccupent les constructeurs désireux d'accroître le rendement du blé en farine.

Il ne me reste à mentionner que les bluteaux plans, conseillés par certaines personnes. Ces appareils n'ont pas encore donné des résultats satisfaisants.

Le sassage des gruaux a pris une grande importance depuis que s'est répandue la mouture à cylindres. Cette opération consiste à séparer les gruaux des rougeurs (sons fins et débris de germe) et à les classer suivant leur grosseur; elle se fait en vertu de la différence de densité des matières.

Autrefois on sassait la semoule dans des sas ou tamis à main en peau perforée. Un premier tamis retenait le son; puis un second sas gardait la semoule proprement dite et laissait passer la semoulette. Le travail exigeait des ouvriers exercés et adroits. L'invention du sasseur mécanique Cabannes a permis de l'exécuter automatiquement et réduit dans une énorme proportion le personnel des fabriques. A la suite de cette invention, l'industrie des semoules, antérieurement concentrée en Italie, s'est rapidement développée dans le rayon de Marseille.

Les perfectionnements apportés aux sasseurs en ont fait des appareils précis, condensés sous un petit volume, remplissant bien leur rôle et rendant les meilleurs services pour l'épuration et le classement méthodique des gruaux de grosseurs diverses que produit la mouture aux cylindres.

d. *Conservation des farines.* — Les procédés de conservation des farines présentent un intérêt capital au point de vue de l'alimentation

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des armées de terre et de mer; ils ne sont pas moins intéressants pour les minotiers exportateurs.

Dans les circonstances ordinaires, les farines laissées sans préparation ne sauraient conserver indéfiniment leurs qualités. Elles renferment normalement 10 à 15 p. 100 d'eau et peuvent, de plus, en absorber une proportion notable par leur contact avec l'air. Or, sous l'influence de l'humidité, les matières azotées entrent en fermentation à partir de 14 ou 15 degrés centigrades.

Un seul moyen permet de protéger les farines contre l'altération. Il consiste à les étuver et à les priver ainsi, non seulement de leur eau hygrométrique, mais aussi d'environ la moitié de l'eau qu'elles contiennent normalement. Pratiqué par les moyens courants, cet étuvage est difficile, long et coûteux; des précautions attentives sont indispensables pour ne pas enlever au gluten, par une température excessive, son aptitude à la panification. La difficulté a été résolue par l'étuve mécanique de M. Ch. Touaillon fils, qui comprend une série de plateaux superposés et chauffés au moyen de courants de vapeur. Cet appareil, imaginé depuis plus de trente ans, a été employé avec succès dans de grosses maisons d'exportation, notamment chez MM. Darblay.

2. Boulangerie. — L'art de la boulangerie résume le but final de la production et de la mouture du blé. Il a pour objet de fournir le pain, cet aliment par excellence de l'homme, cette nourriture si complète, si assimilable, si facile à supporter bien qu'elle intervienne sous la même forme à tous les repas.

Longtemps la fabrication du pain fut une opération purement domestique. Il y a une dizaine d'années à peine, plus de la moitié du pain consommé en France se confectionnait encore dans les ménages.

D'abord exclusivement composé de farine et d'eau, le pain était lourd et peu digestif. Parfois une addition de matières sucrées et alcoolisées le rendait plus léger et plus agréable au goût; mais les riches pouvaient seuls s'offrir le luxe de ce produit relativement perfectionné.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le progrès ne s'accusa qu'au jour où nos ancêtres connurent le rôle de la fermentation[1] et eurent imaginé des fours spéciaux.

C'est sous l'influence de la fermentation que les diverses substances composant la farine acquièrent la propriété d'être facilement assimilables. Quand l'homme fut éclairé à cet égard, la préparation et l'entretien du levain devinrent le travail le plus important de la boulangerie, car de sa réussite dépendait pour une large part le résultat définitif de l'opération. Au pain de pâte ferme se substitua un pain poreux et léger.

Plus tard, l'introduction de la levure de bière dans la pâte amena l'invention des pains de luxe. Pline attribue aux Gaulois l'honneur d'avoir découvert l'utilité de la levure pour la panification. Cependant la boulangerie n'en fit guère usage avant le règne de Henri IV. Marie de Médicis n'admettait à sa table que du pain fabriqué avec de la levure de bière et contenant une certaine proportion de lait : ce qu'on appelle aujourd'hui *petits pains au lait* se nommait alors *pain à la reine*.

L'emploi de la levure suscita en France une controverse fameuse. D'après d'anciens préjugés, on regardait communément le grain germé comme étant en état de pourriture et on n'épargnait les anathèmes ni à la bière, ni à sa levure. François de Neufchâteau rapporte fort gaiement les débats auxquels cette grave question donna lieu en 1668 devant la Faculté de médecine et devant le Parlement; docteurs et magistrats versèrent dans l'erreur du jour, ce qui leur arrive encore quelquefois. La Condamine a mis en jolis vers l'histoire de cette dispute, dans une pièce intitulée *Origine du pain mollet*. Ni l'arrêt de la Faculté, ni celui du Parlement ne furent respectés, et la levure continua à être utilisée pour la fabrication du pain.

Aujourd'hui de même qu'autrefois, c'est par le levain qu'on détermine habituellement la fermentation de la pâte. La levure de bière ou mieux celle d'alcool est surtout en usage pour le pain qui doit

[1] L'explication de ce phénomène ne devait venir que fort tard, au XIXe siècle. Pourtant les Juifs du temps de Moïse savaient déjà exciter la fermentation de la pâte fraîche par l'emploi du levain ou pâte aigrie.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

être trempé; elle sert aussi, mais généralement associée au levain de pâte, dans la confection des pains de luxe, qui sont faits avec de la farine dite *de gruaux sassés* et où entrent parfois des produits étrangers au blé, du lait, du beurre, des œufs, etc., ainsi que dans la préparation des beaux pains de ménage consommés à la ville.

Laissons de côté ces pains exceptionnels pour ne nous arrêter qu'au pain ordinaire, notamment à celui que donne la farine fleur de froment et qui restera toujours, je le répète, l'aliment par excellence.

Après être demeurée stationnaire durant plusieurs siècles, la fabrication du pain s'est considérablement perfectionnée à l'époque contemporaine. Des savants tels que Boussingault, Payen, Peligot, Barral, Mège-Mouriès, M. Aimé Girard, ont fait connaître la théorie de la panification. Puis des praticiens éclairés se sont efforcés d'étendre les principes de la mécanique à l'industrie du pain, qui jusqu'alors n'avait eu recours qu'au bras de l'homme pour ses opérations. Le mérite des progrès accomplis revient principalement à la France. Rien d'étonnant d'ailleurs à ce que nous ayons frayé la voie : l'Anglais et l'Allemand consomment surtout la pomme de terre; l'Italien se nourrit de pâtes; le Français est grand mangeur de pain.

a. *Pétrissage mécanique.* — Née en Italie ou en Espagne, l'idée du pétrissage mécanique s'est rapidement développée en France. Dès 1760, Salignac imaginait une sorte de herse tournante destinée à pétrir simultanément une très grande quantité de pâte. L'année suivante, Cousin, boulanger à Paris, essayait à l'hôtel des Invalides un mécanisme du même genre. On trouve dans les galeries du Conservatoire des arts et métiers un des premiers pétrins tournants, dont la construction est due à Parmentier. En 1811, un autre boulanger parisien, Lambert, construisait un appareil meilleur, formé d'une caisse rectangulaire à laquelle on imprimait un mouvement de rotation autour d'un axe horizontal; cet appareil, nommé *lambertine*, avait encore de graves défauts : il opérait un mélange plutôt qu'un pétrissage; en outre, sa fermeture hermétique interdisait l'accès de l'air indispen-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sable à la fermentation. La lambertine, modifiée plus tard par Fontaine, Hébert, les frères Mouchot, etc., qui la munirent d'agitateurs fixes, put rendre quelques services. D'autres constructeurs, parmi lesquels Noverre, Maugeret, Lasgorseix, en renversèrent les dispositions, de manière à rendre la cuve fixe et les agitateurs mobiles. Malgré ces modifications, elle dut être abandonnée, et son insuccès fut pour beaucoup dans la défiance des boulangers à l'égard du pétrissage mécanique.

Bientôt cependant apparurent de nouveaux pétrins mécaniques. L'Exposition de 1867 en montra de nombreux types dus à Boland, Coveley, Caron, Strauh, Lenoir, Dubois, Rolland, Lesobre, Deliry, Drouot; sauf les deux derniers, tous comportaient une cuve fixe rectangulaire, demi-cylindrique ou demi-sphérique, et des pétrisseurs mobiles. Les résultats commençaient à être meilleurs; l'appareil de Boland fut même longtemps employé à la boulangerie des hospices civils de Paris.

Un inconvénient grave subsistait dans la plupart des pétrins mécaniques inventés jusqu'à cette époque. Ils imprimaient à la pâte un mouvement continu et général durant le pétrissage, alors qu'au contraire cette opération doit être effectuée par mouvements successifs et intermittents. L'appareil créé en 1854 par Deliry-Desboves, et dont celui de Drouot n'était qu'une variante, avait le mérite de permettre la discontinuité du travail : ses organes principaux consistaient en une cuve de fonte tournant autour d'un axe vertical, un pétrisseur frasant la pâte et la découpant, deux allongeurs de forme hélicoïdale.

En 1885, à l'exposition de meunerie-boulangerie, M. Purel produisit un pétrin qui comportait des dispositions nouvelles et ingénieuses pour opérer le frasage.

Depuis, de nouveaux progrès ont été réalisés dans la construction des pétrins mécaniques. Bien qu'aucun des appareils existants ne puisse être considéré comme absolument parfait, l'Exposition de 1889 a mis néanmoins sous les yeux du public des outils de grande valeur. Outre la cuve tournante Deliry-Desboves, qui semble toujours répondre le mieux au besoin de repos de la pâte pendant le pétris-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sage, je citerai les fraseurs Purel et Dagry, ainsi que les pétrisseurs Dathis.

Les pétrins mécaniques sont employés dans les manutentions militaires, dans les grands établissements industriels, dans certaines exploitations agricoles, dans les hospices, les collèges, les prisons, etc., et le pain est bien supérieur à ce qu'il était auparavant. D'importantes manutentions travaillant pour le public y recourent également et diminuent ainsi leur prix de revient, en même temps qu'ils fournissent des produits d'excellente qualité.

Néanmoins la plupart des boulangers, notamment les boulangers parisiens, demeurent rebelles au progrès. Le geindre continue à y opposer une résistance absolue; il reste fidèle à son vieux procédé de travail si exténuant, si contraire aux règles de l'hygiène et de la propreté, qui consiste à manipuler pendant près d'une heure un poids de pâte atteignant parfois 300 kilogrammes; redoutant de perdre son gagne-pain, il ne veut pas comprendre que la conduite intelligente d'un appareil mécanique le relèverait, sauvegarderait sa santé et lui procurerait sans doute un salaire plus élevé. En cela comme en toutes choses, l'erreur finira par se dissiper; mais elle a déjà trop duré, et les procédés usuels de pétrissage sont indignes du XIX^e^ siècle.

b. *Fours.* — Tout d'abord le pain fut cuit sous la cendre; plus tard on employa des instruments analogues aux grils et aux poêles de l'époque actuelle. Rome construisit, cinq cents ans avant notre ère, les premiers fours de boulangerie : ces fours étaient à sole plate et comportaient une voûte sur pieds-droits; un orifice antérieur servait à l'introduction du combustible végétal, à l'évacuation de la fumée, à l'enfournement du pain et au défournement; la cheminée se trouvait au-dessus de l'autel.

Depuis, des améliorations nombreuses ont été réalisées dans la suite des siècles. Afin de faciliter le tirage et de régulariser la chaleur, on a ménagé au fond du four plusieurs orifices munis de conduits ou *ouras,* par lesquels la fumée s'échappe vers la cheminée en suivant l'extrados de la voûte. En même temps que sa hauteur était

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

réduite, la voûte ou chapelle recevait une forme ovoïde plus favorable au rayonnement. A l'ancienne porte s'est substituée une bouche dans laquelle s'ajuste une plaque de fermeture en fonte, pour retenir la vapeur d'eau s'échappant du pain lors de la cuisson : cette buée contribue en effet à la finesse et à la coloration de la croûte; elle est si utile qu'on a cherché à en favoriser l'action en inclinant la sole, comme dans le four viennois, et même à en accroître la quantité au moyen d'appareils remplis d'eau. Jadis l'intérieur du four s'éclairait à l'aide de petits morceaux de bois sec placés dans une boîte en tôle : maintenant on recourt aux lampes à huile, aux becs de gaz et même aux lampes électriques.

Malgré ces perfectionnements successifs, les fours ordinaires présentent divers inconvénients : ils doivent être chauffés à chaque fournée, ce qui constitue un désavantage sensible, surtout pour la fabrication en grand; le chauffage intérieur est du reste un obstacle évident à la propreté de la sole.

Des tentatives réitérées ont été entreprises pour l'organisation pratique de fours chauffés extérieurement : cette disposition assure la propreté de la sole; elle permet en outre d'obtenir une chaleur continue et d'employer du combustible moins coûteux que le bois, par exemple de la houille ou du coke. Dans quelques-uns de ces fours, on s'est efforcé de rendre l'enfournement et le défournement plus faciles, en les munissant de soles tournantes (four Rolland). Les fours à foyer indépendant, dits *aérothermes*, chauffant l'intérieur du four avec de l'air chaud, n'ont donné longtemps que de médiocres résultats.

On a essayé aussi le chauffage à la vapeur. Il y a une quarantaine d'années, des Anglais se sont ingéniés à établir des fours à circulation d'eau chaude, que nous avons ultérieurement imités.

En 1885, lors de l'exposition de meunerie-boulangerie, sont apparus les fours mixtes, qui se chauffent à la houille ou au coke et dont le système consiste à localiser le feu dans un foyer indépendant, tout en faisant passer les produits de la combustion à l'intérieur du four. On a revu en 1889, avec certains perfectionnements, ces fours mixtes, qui semblent devoir supplanter les fours au bois : ils sont

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

plus économiques, plus faciles à chauffer; le travail est simplifié; le séchage du bois disparaît, ce qui supprime une cause permanente d'incendie; le fournil devient un atelier salubre, au lieu d'être infecté par la fumée et les gaz délétères échappés de la braise.

c. *Observations générales.* — Comme l'attestent les courtes indications qui précèdent, le travail de la panification a été dans son ensemble l'objet d'actives recherches, et la boulangerie peut disposer aujourd'hui d'un outillage perfectionné.

L'abolition de nos anciens règlements sur la profession de boulanger a puissamment secondé ce mouvement. C'est surtout depuis le décret libéral du 22 juin 1863 que les pétrins mécaniques ont commencé à étendre leur domaine jusqu'alors si restreint.

Il reste cependant beaucoup à faire pour la vulgarisation de ces appareils ainsi que des nouveaux types de fours. Tous ceux qui portent un intérêt sincère à l'industrie nationale et à la condition des ouvriers souhaitent la prompte réalisation de progrès trop longtemps différés.

3. Biscuiterie; vermicellerie. — Pour la fabrication du biscuit de mer comme pour la boulangerie, l'amélioration principale consiste dans le remplacement du travail musculaire par le travail mécanique. Autrefois la pâte à biscuit était pétrie avec les pieds, puis découpée en larges galettes qui subissaient une cuisson prolongée. Au commencement du siècle fut inventé le coupe-pâte; puis l'arsenal de Deptford (Angleterre) inaugura l'emploi des pétrins mécaniques et des laminoirs à étendre. Depuis, la fabrication mécanique du biscuit a pris une grande extension, notamment au delà de la Manche. La pâte étant sans levain appelle un mode de pétrissage différent de celui de la pâte à pain; elle doit être plus consistante et peut être travaillée d'une façon continue.

Cette différence s'accuse encore davantage pour les pâtes alimentaires, vermicelles, macaronis, nouilles, lazagnes, petites pâtes de forme variée connues sous le nom de *pâtes d'Italie*. La fermentation,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qui joue un rôle si important dans le travail du pain, est au contraire soigneusement exclue de la vermicellerie, où la pâte se forme uniquement par l'agglomération de la farine ou de la semoule avec environ 30 p. 100 d'eau chaude, au moyen d'un malaxage et d'un laminage énergiques.

L'industrie des pâtes est originaire d'Italie; elle y entre pour une grosse part dans l'alimentation publique. Nos voisins ont eu longtemps le monopole de la fabrication; mais les producteurs français sont arrivés à pourvoir aux besoins de la consommation nationale et même à entreprendre un commerce d'exportation. C'est du reste en France que la préparation des pâtes a reçu ses premiers perfectionnements.

Originairement le pétrissage s'exécutait à force de bras et de jambes : on employait un appareil dit *broie* ou *pétrin à sauter,* qui demandait des ouvriers très robustes. Pour le moulage de la pâte, on se servait de presses à vis mues par un cabestan. Aujourd'hui les pétrisseurs mécaniques exécutent le frasage d'une manière bien plus parfaite, et la *harpie* ou machine à pétrir est venue remplacer la *barre à sauter* dans la compression et le durcissement de la pâte; les grands établissements ont substitué aux presses à vis des presses hydrauliques actionnées par un moteur à vapeur; on a d'ailleurs perfectionné le chauffage auquel doit être soumis le cylindre contenant la pâte.

4. Pâtisserie. — Naguère la fabrication des pâtisseries sèches constituait une spécialité anglaise. Ces produits, dans la composition desquels entrent de la farine, du beurre, du sucre, parfois des œufs, se font avec une pâte très ferme, analogue sauf ses éléments plus complexes à la pâte du biscuit de mer. La similitude de travail des deux pâtes a permis à l'Angleterre d'employer pour les pâtisseries sèches des machines primitivement imaginées pour le biscuit, d'organiser ainsi une production mécanique considérable et d'exporter dans toutes les parties du monde.

Abstraction faite des biscuits de Reims et des autres produits de même nature, la France ne fabriquait encore, vers 1867, qu'une quantité insignifiante de pâtisseries sèches. Grâce à M. Piel, de Paris,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qui a créé toute une série d'ingénieux engins mécaniques, nous avons pu nous soustraire au monopole étranger. Depuis, de grandes usines se sont installées en France et font une concurrence sérieuse à la fabrication anglaise.

5. Sucrerie. — Peu d'industries ont pris un essor comparable à celui de la fabrication du sucre. Cette denrée, si rare il y a deux siècles et demi qu'on la trouvait seulement chez les apothicaires, a vu en 1889 le chiffre de sa production dépasser 5 milliards de kilogrammes.

La découverte du sucre de betterave a été le facteur principal de la situation merveilleuse dont nous sommes aujourd'hui les témoins. Après être restée longtemps tributaire des pays producteurs de la canne à sucre, l'Europe s'est émancipée, développant sans cesse la culture de la betterave, augmentant ainsi sa prospérité agricole, pourvoyant d'abord à sa propre consommation, puis disputant aux tropiques la suprématie du marché des sucres dans le monde entier. L'Angleterre ne savait certes pas si bien prophétiser sous le premier Empire, quand, prise d'un accès d'ironique gaieté, elle représentait l'un de ses nationaux jetant dédaigneusement une betterave vers la France, par-dessus le détroit, et accompagnant ce cadeau des mots : *Va te faire sucre.*

Dès 1705, Olivier de Serres avait indiqué la présence du sucre dans la betterave. En 1747, Margraff, illustre chimiste prussien, lut à l'Académie de Berlin un mémoire sur la question, établit l'identité entre le sucre de betterave et le sucre de canne, et pressentit les conséquences fécondes de ses belles recherches. Il était réservé à un de ses élèves, Ch. Achard, d'appliquer industriellement les idées du maître et de fonder en 1796, à Kunern (Silésie), la première fabrique de sucre de betterave. Deux établissements semblables furent élevés peu de temps après.

Née en Allemagne, la nouvelle industrie ne tarda pas à se propager dans les pays voisins. Du reste les circonstances politiques étaient singulièrement favorables à son extension, qui devait avoir pour effet de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

soustraire le continent au monopole britannique et de mettre un terme au renchérissement provoqué par les événements de guerre.

La fabrication du sucre de betterave venait de s'implanter fortement en France, quand elle faillit sombrer au milieu de l'invasion. « Au « moment où je faisais donner à mes terres le premier labour pour la « culture de cette année, dit Mathieu de Dombasle (l'un des pionniers « de la culture de la betterave), nos armées entraient dans Moscou; « lorsque j'étais occupé à fabriquer le produit de cette même récolte, « ma manufacture servait de quartier à un détachement de Co- « saques. »

Après 1815, les fabriques de sucre se multiplièrent sous la savante impulsion de Mathieu de Dombasle, de Chaptal, de Crespel-Dellisse. Vers 1825 parurent divers traités sur la matière, entre autres l'ouvrage resté classique de Dubrunfaut. Dès lors, le progrès ne s'arrêta plus; l'industrie sucrière alla toujours améliorant ses produits, abaissant ses prix de revient, développant à la fois la consommation et les ressources propres à y pourvoir.

M. Boire, rapporteur du jury de la classe 50 à l'Exposition de 1889, a inséré dans son rapport un tableau récapitulatif qu'il me paraît utile de reproduire ici :

ANNEES.	PRIX DES 100 KILOG. de sucre raffiné. (Droits déduits.)	PRODUCTION DU SUCRE DANS LE MONDE ENTIER.			PROPORTION P. 100 DANS LA PRODUCTION TOTALE.	
		TOTALE.	SUCRE DE CANNE.	SUCRE DE BETTERAVE.	CANNE.	BETTERAVE.
	francs.	tonnes.	tonnes.	tonnes.		
1855.....	115	1,423,000	1,233,000	190,000	87	13
1867.....	80	3,622,000	2,938,000	684,000	81	19
1878.....	70	4,865,000	3,444,000	1,421,000	71	29
1889.....	50	5,262,000	2,535,000	2,727,000	48	52

Ce tableau montre l'espace franchi depuis le milieu du siècle et met bien en évidence les résultats de la lutte engagée par le sucre de betterave contre le sucre de canne.

Il s'agit d'une industrie aujourd'hui si importante qu'un court aperçu au sujet des méthodes de fabrication ne sera pas sans intérêt.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

a. *Sucrerie de betterave.* — Étudions d'abord la situation antérieure à 1855. Nous examinerons ensuite les progrès révélés par les expositions universelles de Paris.

Autrefois le procédé presque exclusivement en usage pour l'*extraction du jus* de betterave consistait en un râpage suivi de compression. La pulpe obtenue par l'action de la râpe était mise en sac et portée à la presse préparatoire, puis à la presse hydraulique. Mais, dans les meilleures conditions de pressurage, on n'obtenait au maximum que 80 p. 100 du jus contenu dans la pulpe. Il fallait arriver à extraire plus complètement le jus sucré. Mathieu de Dombasle avait essayé la méthode dite *de macération*, fondée sur le découpage des betteraves en tranches minces et sur le traitement des *cossettes* par l'eau bouillante : cette méthode, améliorée plus tard par Schutzenbach, dut être abandonnée; M. Robert n'eut cependant qu'à la transformer, en 1864, pour créer celle de la *diffusion* dont le succès a été si éclatant.

Qu'ils soient extraits par pression, par macération ou par diffusion, les jus de betterave sont toujours colorés et impurs. Malgré toutes les précautions prises, ils renferment des acides capables d'amener l'interversion du sucre, ainsi que des matières qui, sans altérer chimiquement la substance sucrée, l'englobent dans une série de combinaisons ou de mélanges donnant de la mélasse; ils détiennent aussi des composés organiques azotés qui les feraient entrer rapidement en fermentation. Aussi doit-on les purifier, les soumettre à une *défécation*, dont l'importance est capitale.

Par cette opération essentielle, l'Europe devait naturellement s'inspirer des pratiques suivies aux colonies dans la fabrication du sucre de canne. La chaux servant à l'épuration du *vesou* ou jus de canne, Lampadius, chimiste suédois, conseilla vers 1797 de l'appliquer également à la défécation du jus de betterave. Mais les différences assez profondes qui existent entre le jus de canne et le jus de betterave ne permettaient pas d'étendre purement et simplement à l'industrie naissante les procédés coloniaux. Des recherches nouvelles furent entre-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

prises en 1801; elles aboutirent vers 1807, à la suite des travaux de Barruel, de Derosne et de Dubrunfaut.

La défécation simple par la chaux présentait l'inconvénient de communiquer au jus une alcalinité trop grande, susceptible d'entraver ensuite la fabrication. Un progrès sérieux fut la saturation de la chaux en excès par l'acide sulfurique, conformément aux idées émises par Achard, dès 1792; ce mode d'épuration resta en vigueur jusqu'à l'année 1849.

Antérieurement à cette date, Kuhlmann (1833), puis Barruel avaient imaginé de substituer l'acide carbonique à l'acide sulfurique. Leur méthode, mal combinée, n'arrivait point à prévaloir, lorsque les frères Rousseau réussirent à la faire entrer dans le domaine de la pratique. Ces inventeurs reconnurent qu'il était avantageux, au point de vue de la conservation des jus, de forcer la dose de chaux; peu à peu, la défécation en vint à reposer presque tout entière sur l'action du carbonate de chaux et prit le nom de *carbonatation.* Le procédé Rousseau fut rapidement adopté dans un assez grand nombre d'usines, parce qu'il économisait environ 30 p. 100 du noir animal nécessaire à l'achèvement de l'épuration; il ouvrit d'ailleurs la voie au procédé de la *double carbonatation,* dont j'aurai à parler plus loin.

C'est par le noir que se complète la purification des jus de betterave. Après la défécation ou la carbonatation, ces jus traversent des filtres à noir animal, sont évaporés de manière à prendre la consistance sirupeuse et subissent un second filtrage. Le chimiste russe Lowitz avait découvert en 1791 le pouvoir décolorant du charbon[1]; en 1811, Figuier démontrait la supériorité du charbon d'os sur le charbon de bois pour la décoloration des sirops; l'année suivante, Derosne inaugurait l'emploi du noir animal pulvérisé à la clarification des jus sucrés de fabrique et de raffinerie.

Jusqu'en 1828, on fit usage du noir en poudre ajouté au jus dans la chaudière à évaporer, puis séparé par un clairçage à l'albumine.

[1] Le charbon possède en outre la propriété d'absorber certaines matières organiques et salines.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le noir était perdu pour le fabricant, bien que Bussy et Payen eussent reconnu la possibilité de le revivifier (1822); mais il coûtait peu et on le jetait aux engrais une fois qu'il avait servi. Cependant la multiplication des usines et le renchérissement du noir, malgré les importations d'os de Montevideo et de Buenos-Ayres, obligèrent à y regarder de plus près. Sous l'empire de cette nécessité, Dumont imagina l'emploi du noir en grains et des filtres qui portent son nom (1828).

L'introduction du noir en grains fut une véritable révolution. Elle donna naissance aux fours à revivifier. L'amélioration des jus par le nouveau traitement contribua dans une large mesure au développement de la fabrication.

En général la *concentration* des jus comporte deux opérations : on amène d'abord le liquide à l'état de sirop; puis, après l'avoir filtré, on achève de le concentrer jusqu'à la cuisson.

Primitivement la méthode appliquée à chacune de ces deux opérations était celle de Lampadius, c'est-à-dire celle du chauffage au moyen de tuyaux noyés dans le jus et traversés par un courant de vapeur. Mais l'action prolongée de la chaleur peut produire des effets d'altération et fournir une notable proportion de sucre incristallisable; il importait donc de réduire cette action et de trouver un procédé qui abaissât le point d'ébullition.

Howard réalisa, le premier, ce désidératum en inventant la chaudière à évaporation dans le vide (1816). Malheureusement son appareil n'économisait pas assez le combustible pour qu'il y eût intérêt à lui faire concentrer les jus, et l'usage en fut restreint pendant longtemps à la cuite des sirops.

Pour économiser le combustible, on imagina de faire passer les jus, avant leur arrivée aux chaudières d'évaporation, sur des tuyaux par lesquels s'échappaient les vapeurs perdues des moteurs et des chaudières. La concentration s'effectuait ainsi partiellement, sans qu'il en coûtât rien. Ce procédé avait le défaut de ne pas épargner le sucre aussi bien que le combustible.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le problème fut enfin résolu par des appareils d'évaporation *à effet multiple*, qui apparurent vers 1840-1845, et dont Rillieux avait eu l'idée dès 1835. Ces appareils reposent sur un principe ingénieux, consistant à utiliser les vapeurs échappées des jus pour l'évaporation d'autres jus dans le vide; ils permettent de tirer parti d'une quantité considérable de calorique, antérieurement perdu ou mal employé dans le système des chaudières à air libre. Depuis sa réalisation pratique, la méthode de Rillieux a partout servi de base aux procédés d'évaporation.

Mais, si l'usage des appareils à effet multiple s'est rapidement généralisé pour la concentration des jus jusqu'à consistance sirupeuse, leur emploi pour la cuite, bien que donnant en Louisiane de remarquables résultats, n'a pu se répandre en Europe. Nos sucreries de betteraves ont continué à cuire les sirops dans les anciennes chaudières d'Howard, perfectionnées par divers constructeurs.

La cuite amène les sirops à un degré de concentration suffisant pour qu'on puisse en extraire près des trois quarts du sucre.

Au temps où la cuisson se pratiquait à l'air libre, la masse, arrivée au point d'évaporation voulu, était coulée dans des *bacs d'empli*, où on la laissait cristalliser par refroidissement : cela demandait un délai assez long, huit et même quinze jours.

Le rendement et la rapidité du travail augmentèrent avec la cuisson dans le vide. D'une part, en effet, le sucre cristallisable, soumis à une température relativement basse pendant l'évaporation, ne s'altérait plus et se déposait en plus grande quantité; d'autre part, les grandes masses de liquide mises simultanément en œuvre abrégeaient les opérations.

Un progrès non moins appréciable fut accompli le jour où on eut trouvé le moyen de réaliser dans les chaudières à vide la cristallisation en même temps que la cuite. Ce mode d'opérer, qui conduit à la formation de cristaux ou *grains* nettement isolés dans la chaudière, a reçu le nom de *cuite en grains;* il donne des sucres plus beaux et plus faciles à purger, et assure en outre un rendement plus fort.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Aujourd'hui généralisée, la cuite en grains était toute nouvelle en 1855.

Après la cuite, la masse est recueillie dans des bacs où le grain achève de se former; elle y séjourne de huit à dix heures.

Une autre opération presque aussi lente que la cristallisation était celle de la séparation des cristaux et des eaux mères. Elle exigeait un long égouttage et des clairçages dispendieux.

L'emploi des essoreuses à force centrifuge ou *turbines* pour l'épuration et le clairçage des sucres a singulièrement activé et simplifié le travail. Ce perfectionnement, dû à Rholfs et Seyrig (1850), obtint, dès le début, un grand succès, et l'on estimait qu'en 1855 plus de 2,000 turbines à sucre fonctionnaient déjà dans diverses contrées.

Je me réserve d'examiner plus loin la question du raffinage, qui, du reste, n'a cessé jusqu'en 1855 de constituer une industrie tout à fait distincte.

Après avoir brièvement retracé les différentes étapes franchies par l'industrie sucrière jusqu'à notre première Exposition universelle, jetons un coup d'œil sur les progrès que chacune des expositions suivantes a permis de constater dans le matériel et dans les procédés de fabrication.

La période de 1855 à 1867 vit se multiplier les tentatives de substitution des presses continues aux presses hydrauliques intermittentes, pour l'extraction du jus de betterave. A l'origine même de la fabrication du sucre de betterave, les inventeurs avaient songé aux presses continues, par imitation des laminoirs employés pour la canne à sucre. Mais la différence de texture des deux plantes appelait des solutions différentes; la betterave demandait notamment un laminoir à surface perméable pour le jus seul, au lieu d'un laminoir à surfaces pleines. Isnard crut atteindre le but par l'interposition de toiles entre les rouleaux; cependant l'appareil de Pecqueur (1836) fut le premier qui réalisât véritablement les données du problème.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

D'autres constructeurs, suivant la voie ouverte par Isnard et Pecqueur, proposèrent divers systèmes de presses continues. Lors de l'Exposition de 1867, ces presses, bien que fonctionnant dans certaines fabriques et donnant déjà une sérieuse réduction de main-d'œuvre et d'outillage, étaient encore trop imparfaites.

Pendant la même période 1855-1867, les procédés d'épuration calcique des jus reçurent de notables perfectionnements. En 1859, MM. Périer et Possoz, en collaboration avec la maison Cail, créèrent leur méthode par l'action unique de l'acide carbonique sur la chaux; partout la *double carbonatation* se substitua avec avantage à l'ancienne défécation, qui ne fournissait qu'un résultat partiel, où au procédé Rousseau, qui ne l'améliorait pas suffisamment; cette substitution procurait une importante économie dans la quantité de noir employée à la filtration. Le seul inconvénient, alors très grave, de la double carbonatation était de produire beaucoup d'écumes, dont on ne pouvait débarrasser facilement les jus. Tous les efforts se portèrent vers la recherche d'un remède à ce défaut et aboutirent en 1864 à l'invention ou plutôt au perfectionnement du filtre-presse : dès 1814, Howard avait imaginé des filtres agissant par pression et destinés à remplacer les filtres Taylor des raffineries; reprise sans succès par W. Teedham (1853) et par James Kite (1856), l'idée fut enfin réalisée par Jacquier, Danek et Trincks (1864), puis par Durieux et Rœttger (1866), qui firent du filtre-presse un instrument essentiellement manufacturier.

On signalait encore, en 1867, la généralisation des appareils à triple effet, chauffés par les vapeurs perdues de l'usine et diminuant ainsi dans une forte proportion la dépense de combustible qu'entraînait antérieurement l'emploi des chaudières d'évaporation à feu nu. Certains dispositifs de construction avaient amélioré, sans en changer le principe, les appareils à multiple effet de Rillieux.

Le travail des mélasses venait de s'enrichir d'un instrument nouveau, l'*osmogène*, établi par Dubrunfaut sur les bases posées par Dutrochet et Graham. De tout temps, les fabricants de sucre s'étaient préoccupés de tirer parti des mélasses. Aux colonies, on les faisait

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fermenter pour en retirer de l'alcool; l'industrie européenne appliqua le même traitement aux mélasses de betterave, et parvint même à extraire des résidus les sels de soude et de potasse qu'ils renferment. Mais les mélasses contiennent 50 p. 100 de sucre cristallisable, qu'il était désirable de pouvoir extraire : après divers essais de traitement par la baryte, par la chaux et par l'alcool, vint l'heureuse application de l'osmose, qui permettait d'obtenir moitié environ du sucre contenu dans la mélasse. Néanmoins, en 1867, il n'y avait encore que peu d'industriels pratiquant l'osmose de leurs mélasses.

C'est entre 1867 et 1878 que s'est répandu le système indiqué en 1867 par M. Linard, pour le transport souterrain des jus extraits dans des râperies indépendantes. Au lieu de transporter les betteraves à l'usine, puis de ramener à la ferme les pulpes épuisées, il est évidemment avantageux d'établir des râperies à proximité des cultures, de laisser ainsi les pulpes sur place et d'envoyer les jus à une usine centrale par des canalisations souterraines. Par ce moyen, les sucreries peuvent étendre leur action sur des superficies beaucoup plus vastes; elles réduisent leurs frais de transport, de matériel, d'ouvriers, de combustible, et diminuent d'autant leur prix de revient. Rien d'étonnant, dès lors, dans l'énorme développement du transport des jus depuis 1867, date à laquelle fut établie la première canalisation (Montcornet, Aisne).

En augmentant la puissance de production des usines, le système Linard devait obliger les industriels à accroître et à perfectionner leur outillage.

M. Avisse, rapporteur du jury à l'Exposition de 1878, signalait divers progrès d'une réelle efficacité : adjonction à chaque usine centrale d'un chimiste appelé à suivre les différentes phases du travail; perfectionnements du matériel et du mode de fabrication, dans le but d'éviter les pertes de sucre; emploi de la repression pour l'épuisement des pulpes; lavage des écumes de carbonatation. Différents moyens avaient été proposés en vue de prévenir les entraînements de gouttelettes sucrées dans les appareils de concentration, ainsi que

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pour rendre le clairçage à la turbine plus actif et plus économique : les sucres blancs très purs, obtenus grâce à ces améliorations, permettaient l'essai du moulage direct en fabrique.

Mais le fait le plus considérable était l'application en grand du procédé de *diffusion*, dû à Mathieu de Dombasle (1821) et à Robert, de Seelovitz en Moravie (1864). Dans cette méthode d'extraction, la betterave, préalablement réduite en lamelles ou cossettes à l'aide d'un coupe-racines, est soumise à un lavage ou plutôt à une osmose qui fait sortir des cellules la presque totalité de leur sucre (97 à 98 p. 100); les cossettes épuisées sont ensuite séparées de l'eau de lavage et emmagasinées pour servir à la nourriture du bétail.

La diffusion, qui procure une économie sérieuse de main-d'œuvre et d'outillage, et qui donne un rendement en sucre supérieur à celui des presses, avait déjà pris en 1878 un assez grand développement, surtout au delà du Rhin. Grâce à son régime fiscal et à la richesse de ses betteraves, l'Allemagne avait promptement abandonné les anciens moyens d'extraction. Elle s'était d'ailleurs livrée à d'incessantes et habiles études, en vue d'accroître la teneur saccharine de la plante.

Diverses causes empêchaient le même mouvement de se dessiner en France. L'achat de la betterave se faisant au poids, les cultivateurs poussaient à la quantité, sans prendre souci de la richesse saccharine, et fournissaient par suite aux fabricants une matière première inférieure à celle de l'Allemagne, de l'Autriche, de la Russie, où l'industriel produisait lui-même à peu près la moitié des betteraves travaillées à son usine. Nos fabricants, ayant à payer l'impôt sur le sucre produit et non sur la racine comme en Allemagne, ne réagissaient pas contre les fâcheuses tendances de la culture; malgré les pertes de sucre inhérentes au procédé de la pression simple, ils continuaient à employer ce mode d'extraction et trouvaient avantage à laisser du sucre dans les résidus, en travaillant vite, plutôt que de l'extraire péniblement et au prix de dépenses élevées. Confiants dans leur ancienne supériorité et ne comprenant pas l'étendue du péril, ils se contentaient des betteraves à 10 p. 100 de sucre seulement et se

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

plaisaient à répéter que le traitement par diffusion ne pouvait convenir à ces racines pauvres.

Cependant la lumière ne devait pas tarder à se faire. La production allemande était passée de 300,000 tonnes, en 1870, à 1,555,000 tonnes, pendant la campagne 1884-1885; après avoir tenu le premier rang depuis le commencement du siècle, nous nous trouvions relégués au troisième.

Quelques cultivateurs intelligents tentèrent et réussirent la culture des betteraves riches à 14 et 15 p. 100; plusieurs industriels, suivant l'exemple donné par l'usine de Verberie dès 1873, appliquèrent le procédé de la diffusion. Puis intervint la loi salutaire de 1884, qui établissait l'impôt non plus sur le poids du sucre fabriqué, mais sur le poids de la betterave.

Ce fut le signal d'une rénovation complète. Nos cultivateurs montrèrent leur aptitude à produire des betteraves riches, tout comme les cultivateurs allemands; la racine à 10 p. 100 fut bientôt inconnue dans les sucreries. Les industriels se hâtèrent de vendre leur vieux matériel d'extraction, pour y substituer l'outillage moderne de la diffusion; en 1889, le changement était opéré pour 317 établissements sur 370.

En même temps, l'industrie de la *sucraterie*, née des travaux de Peligot, permettait d'extraire des mélasses le sucre que les procédés ordinaires de la sucrerie y avaient laissé à l'état de sirop.

Aussi les rendements industriels ont-ils augmenté dans une énorme proportion. Maintenant, à poids égal de matière première, la betterave donne sensiblement plus de sucre que la canne.

Des améliorations de détail ont été apportées aux méthodes de défécation, d'évaporation, de cuite, de turbinage. Parmi les faits qu'a mis en lumière l'Exposition universelle de 1889, je citerai les tentatives pour la substitution d'un procédé d'épuration calcique continue à celui de la carbonatation, le meilleur emploi des appareils d'évaporation à effets multiples, la suppression presque générale des anciens filtres à noir et leur remplacement par des appareils à tissus filtrants,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les perfectionnements du raffinage des sucres en turbine et son extension, non seulement dans les raffineries spéciales, mais encore dans les fabriques de sucre.

b. *Sucrerie de canne.* — La sucrerie de canne, favorisée par une matière première très riche et par des jus d'un travail relativement facile, a suivi lentement les progrès de sa sœur cadette, la sucrerie indigène.

Pour extraire le sucre de la canne, il faut en tirer le jus ou *vesou*, puis soumettre ce produit intermédiaire à une épuration et à une concentration offrant la plus grande analogie avec les opérations similaires que subit le jus de betterave.

On a pu voir, en 1889, dans les expositions coloniales de Saïgon (Cochinchine) et de Phu-Yen (Annam-Tonkin), les spécimens des machines d'extraction dont les pays d'Extrême-Orient se servent depuis les temps les plus reculés. Ces engins primitifs ont été améliorés; les constructeurs établissent des moulins puissants à cylindres horizontaux, disposés pour faire subir à la canne des pressions successives. Malgré la puissance des appareils, il est impossible d'obtenir, à la première opération, plus de 65 à 70 p. 100 du vesou. Autrefois le surplus du jus restait dans la *bagasse*, employée comme combustible pour le service des générateurs, et se trouvait dès lors perdue. Depuis une vingtaine d'années, on a essayé d'imbiber la bagasse, puis de la repasser au moulin; mais ce mode d'extraction est encore incomplet. Aussi les efforts actuels tendent-ils à appliquer le procédé de la diffusion; les difficultés du coupage de la canne et celles de l'utilisation des cossettes épuisées pour le chauffage des chaudières paraissent avoir reçu une solution satisfaisante.

Le vesou extrait de la canne est soumis à une simple défécation, combinée avec une filtration sur du noir animal.

Pendant longtemps, l'évaporation s'est effectuée à feu nu. Depuis les travaux de Rillieux, les fabricants ont adopté peu à peu la vaporisation dans l'appareil à triple effet et la cuite dans le vide. Aujourd'hui ce mode de traitement est général; la bagasse dessé-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

chée suffit amplement à produire la vapeur nécessaire aux besoins de l'usine.

Quant à la concentration des sirops et au turbinage, ils se font comme pour le sucre de betterave. Du reste, on cherche de plus en plus à introduire dans les sucreries de canne les perfectionnements de la sucrerie indigène.

c. *Raffinage.* — L'opération classique du raffinage des sucres bruts consiste à les refondre, à épurer les sirops par une clarification au noir et au sang, à concentrer ces sirops et à les couler dans des moules coniques où ils sont soumis à des clairçages et subissent l'action de la *sucette*. A leur sortie des formes, les pains doivent être étuvés pendant plusieurs jours avant d'entrer dans la consommation.

Toute la partie du travail qui suit la mise en moule est longue et coûteuse; elle demande beaucoup d'espace et de matériel. En outre, la forme des pains se prête mal au sciage et au cassage en morceaux réguliers. On a été par suite conduit à adopter des moules parallélépipédiques de faible volume, se prêtant mieux au cassage, exigeant un étuvage de moindre durée, et permettant le clairçage et l'essorage au moyen de turbines.

L'Exposition de 1878 montrait déjà cette transformation. Depuis, le nouveau mode de raffinage s'est perfectionné; ne nécessitant qu'un matériel restreint, il a été accueilli avec faveur par les raffineries spéciales et s'est même implanté dans beaucoup de sucreries qui raffinent ainsi tous leurs produits.

6. Distillerie. — a. *Origines. Historique jusqu'au commencement du XIX^e^ siècle.* — L'art de distiller remonte aux siècles les plus lointains; il était par exemple pratiqué pour l'extraction du principe odorant des plantes et des fleurs. Cependant les anciens n'eurent longtemps à cet égard que des notions fort imparfaites; leurs procédés demeuraient aussi vicieux que leurs appareils informes. On en jugera par le mode de faire des premiers navigateurs de l'Archipel, qui, pour se procurer

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de l'eau douce, faisaient bouillir de l'eau salée dans des marmites et en recueillaient les vapeurs au moyen de laine ou d'éponges.

Dioscorides, célèbre médecin grec d'Anazarba (Cilicie), qui vivait au IIe siècle de notre ère, indiqua le premier, sous le nom d'*ambic*, des appareils réellement appropriés à la distillation. Au moyen âge, quand florissaient les alchimistes et les médecins arabes, cette dénomination se changea en celle d'*alambic*.

Il semble d'ailleurs que la distillation perfectionnée ait pris naissance chez les Arabes et, de là, se soit répandue en Italie, en Espagne et dans le midi de la France. Avicenne (Abou-Ibn-Sina), à la fois médecin et philosophe, l'un des hommes les plus remarquables qu'ait produits l'ancienne civilisation asiatique, comparait le rhume de cerveau à une distillation : « L'estomac, dit-il, est la *cucurbite*, la tête est « le *chapiteau*, et le nez est le *réfrigérant* par lequel s'écoule goutte à « goutte le produit de la distillation ». Deux autres médecins arabes, Razi et Aboul-Cacem, ont décrit les méthodes propres à extraire le parfum des fleurs; le dernier a donné une description exacte des trois distillations *per ascensum*, *per descensum* et *per latus*.

A quelle époque entreprit-on de distiller le vin afin d'en retirer l'esprit ou l'alcool? L'histoire ne dit point les origines de cette pratique, tenue secrète pendant des siècles. Mais elle nous a transmis le nom de celui qui inaugura les écrits sur la matière : Arnaud de Villeneuve, professeur à l'université de médecine de Montpellier (XIIIe siècle). Ce savant eut le mérite d'heureuses applications de l'*eau-de-vie* à la médecine et notamment aux préparations pharmaceutiques. Son élève, Raymond Lulle (né vers 1235, à Majorque), enseigna les moyens de séparer la partie aqueuse de l'eau-de-vie, pour obtenir un produit plus riche en esprit ardent ou *alcool;* il employait jusqu'à sept rectifications, mais considérait trois opérations comme suffisant à donner un alcool entièrement inflammable; les appareils étaient en verre. J.-Michel Savonarole, médecin de Ferrare et grand-père du célèbre dominicain (XVe siècle), laissa un traité (*Conficienda aqua vitae*), dans lequel il enseignait un nouveau mode de distillation comportant l'emploi d'une chaudière en métal et d'un tuyau réfrigérant enveloppé d'eau froide.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les recherches et les écrits abondent à partir du XVI^e^ siècle : parmi les hommes qui se sont occupés de la question, je me borne à citer P.-A. Mattioli, J. Jubée, G.-B. della Porta, Nicolas Lefèvre (l'un des premiers membres de l'Académie des sciences), le docteur Arnaud de Lyon, Glauber, Ph.-J. Sachs, le Père A. Kircher, H. Bœrhaave, P.-J. Macquer, enfin l'illustre Lavoisier.

Jusqu'à la fin du XVIII^e^ siècle, l'alambic généralement usité se composait d'une cucurbite, d'un chapiteau à réfrigérant et d'un serpentin ; c'était un appareil défectueux ne fournissant de l'alcool concentré qu'au prix de plusieurs distillations successives et imposant des pertes sensibles de matière.

En 1780, Argand réalisa une sérieuse amélioration ; il inventa l'appareil *chauffe-vin*, dans lequel les vapeurs alcooliques sortant de la chaudière échauffaient en se refroidissant le vin destiné à l'opération prochaine. Mais la découverte la plus importante fut celle d'Edouard Adam, qui imagina en 1800 d'appliquer l'appareil de Woulfe[1] à la distillation des vins et qui obtint ainsi, en une seule opération, de l'alcool à tous les degrés de concentration exigés par le commerce. Cette invention résolvait, au moins en principe, le problème industriel de la distillation et de la rectification simultanées.

Il ne sera pas inutile de rappeler ici les phénomènes physiques réalisés par les appareils modernes à distillation continue. Soumises à l'ébullition, les liqueurs alcooliques fournissent un mélange de vapeur d'eau et de vapeur d'alcool ; si on laisse ces vapeurs s'élever en se refroidissant, la vapeur d'eau se condense la première et retourne dans le vase distillatoire, de telle sorte que, plus le mélange s'éloigne de la source de chaleur, plus il est riche en alcool : cette dissociation du mélange s'appelle *déflegmation*. Dans les appareils industriels, on force en outre les vapeurs alcooliques et aqueuses à traverser des liquides alcooliques introduits vers le sommet de l'alambic ; au contact de ces liquides, une partie des vapeurs se condense par déflegmation ;

[1] Cet appareil consiste en une série de flacons à double tubulure communiquant entre eux au moyen de tubes destinés à faire barboter un gaz dans le liquide qui remplit partiellement les flacons.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mais le surplus, à la faveur de l'échauffement des liquides traversés, s'enrichit en alcool : c'est ce qu'on nomme la *rectification*.

L'appareil d'Adam réalisait la déflegmation et la rectification, procurait à la fois une économie de combustible et une économie de temps, et surtout permettait d'extraire d'un seul coup la majeure partie de l'alcool contenu dans le vin distillé.

Adam eut bientôt des imitateurs; Solimani et Isaac Bérard imaginèrent des appareils analogues. L'inventeur engagea des procès malheureux contre ceux qu'il considérait comme des contrefacteurs et mourut de misère en 1807.

Malgré ses mérites scientifiques et pratiques, malgré la révolution qu'elle provoqua dans la distillerie, l'œuvre d'Adam était encore très imparfaite. Il a fallu le concours d'habiles constructeurs pour donner à l'idée première tout son développement.

b. *Matières premières. Saccharification. Fermentation.* — Mais, avant de poursuivre cette revue des progrès de la distillerie, il convient de dire un mot des matières premières employées pour la production de l'alcool.

Pendant longtemps l'alcool fut exclusivement tiré du vin de raisin. On reconnut cependant qu'il existait dans toutes les boissons fermentées, dans les vins de fruits et de grains préparés par les pays non viticoles. Tandis que la distillation des vins proprement dits s'exerçait dans le midi de l'Europe et particulièrement de la France, celle des matières farineuses prenait en Angleterre, en Allemagne, en Belgique, en Hollande, etc., une importance considérable.

Le nombre des matières reconnues alcoolisables s'est accru à l'infini, et, dans l'impossibilité de les nommer toutes, je signalerai seulement celles dont se sert la grande industrie.

On sait que l'alcool naît dans les moûts sucrés par suite de la transformation qu'éprouve le sucre sous l'influence des ferments alcooliques, dont la levure de bière est le type le plus connu. Parmi les matières premières utilisées pour la fabrication de l'alcool, il en est où préexiste le sucre fermentescible, et dont les jus ou les dissolutions peuvent être

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

immédiatement mis en fermentation : tels sont les fruits, les betteraves, les mélasses, la canne à sucre, le sorgho, etc. Il en est d'autres qui contiennent peu ou point de sucre, mais renferment des matières amylacées dont on doit opérer la transformation en sucre fermentescible avant de les soumettre à la fermentation alcoolique : je citerai les céréales, les pommes de terre, le maïs, le riz, le dari, etc.

Jusqu'au milieu de ce siècle, le *vin* était resté la source presque unique de l'alcool livré à la consommation publique. On ne distillait pas les betteraves; à peine utilisait-on les mélasses; quant aux grains, ils ne fournissaient que des boissons alcooliques spéciales (genièvres).

Vers 1850, l'invasion de l'oïdium, jointe à de mauvaises récoltes, est venue changer la face des choses. La plupart des vins qui jusqu'alors servaient d'aliment à la chaudière ont été réservés et consommés en nature. Puis le phylloxera a terminé ce que l'oïdium avait commencé.

Aujourd'hui la production de l'eau-de-vie proprement dite est relativement insignifiante. Les bouilleurs de cru continuent néanmoins à distiller les marcs de raisin.

Il y a près d'un siècle que fut reconnue la possibilité d'obtenir de l'alcool *de betterave*. Achard détailla l'opération dans son *Traité complet du sucre européen de betterave*. En 1810, Lampadius la pratiquait à Bettendorf (Saxe). Un peu plus tard, en 1824, Dubrunfaut (*Traité de la distillation*) se préoccupa de soumettre directement les betteraves ou leurs jus à la fermentation alcoolique et à la distillation; l'année suivante, il indiquait l'influence très favorable des acides sur la fermentation de ces jus; on lui doit également la découverte du procédé de fermentation continue.

Les betteraves donnent une matière première excellente pour la fabrication de l'alcool dans tous les pays où les lois fiscales ne s'opposent pas à ce travail, qui fournit des moûts peu denses, mais d'une fermentation rapide. Comme les pommes de terre, elles comportent un rendement en alcool très élevé par hectare de terrain.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Après l'invasion de l'oïdium et les mauvaises récoltes de vin survenues vers le milieu de ce siècle, la distillation de la betterave s'est rapidement développée, sous l'impulsion de Dubrunfaut, puis de Champonnois, de Le Play, etc.; elle a trouvé dans la région du Nord un terrain particulièrement favorable. En 1854, l'interdiction de distiller les grains, mesure destinée à prévenir le surenchérissement des céréales, vint lui imprimer un essor plus puissant encore.

Chez les Allemands, la distillation de la betterave est née du besoin de faire face aux mauvaises récoltes de pommes de terre; mais la modalité de l'impôt, prélevé sur la capacité des cuves et non sur les produits, a constitué un obstacle à son extension.

Bien des méthodes ont été appliquées au traitement de la betterave. L'une d'elles, empruntée originairement à la distillerie des pommes de terre, consiste à cuire les racines à la vapeur, à les écraser, et à mettre la pulpe en fermentation au moyen de la levure : simple, exigeant peu de main-d'œuvre, elle est la première qui ait reçu des applications pratiques, malgré son faible rendement en alcool.

On a aussi mis en fermentation la pulpe obtenue par râpage sur des râpes de sucrerie.

Le procédé de fermentation directe de Le Play (1854) a eu son heure de célébrité. Son principe était de découper les betteraves, de faire fermenter les cossettes en les plongeant dans un liquide en fermentation provenant des opérations précédentes, et de les soumettre ensuite à la distillation. Très séduisant par sa simplicité, ce système s'est heurté contre des difficultés pratiques et n'a pu se généraliser.

Un moyen meilleur, encore pratiqué dans quelques grands établissements français, consiste à extraire d'abord le jus, puis à mettre ce liquide en fermentation sans le marc. Il a débuté à l'origine dans les distilleries françaises qui avaient remplacé les sucreries et où le matériel nécessaire se trouvait complètement prêt.

A cette méthode d'extraction on préfère maintenant celle de la macération, qui a remplacé le râpage et la pression dans la plupart

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des distilleries. C'est à Mathieu de Dombasle que sont dus les premiers essais entrepris dans cette voie (1821); le système de Dubrunfaut, qui eut tant de succès en France, n'était qu'une heureuse modification de celui de Dombasle.

Deux hommes, Siemens en Allemagne et Champonnois en France, se sont occupés avec beaucoup de persévérance d'approprier à l'industrie agricole la méthode de macération. Dans le procédé que préconisa Champonnois et qui fut ensuite amélioré par Savalle, les betteraves sont réduites en cossettes par un coupe-racines et méthodiquement épuisées au moyen d'une série de macérateurs. La particularité du système est d'employer pour la macération, non de l'eau, mais de la vinasse chaude sortant des appareils à distiller. Cette manière d'opérer économise de la chaleur, offre l'avantage de conserver aux cossettes leur valeur nutritive pour l'alimentation des bestiaux, ne nécessite aucun matériel de machines et consomme peu d'eau; elle est aujourd'hui la plus répandue dans les distilleries agricoles.

Aussitôt qu'elles produisirent du sucre, les colonies firent fermenter leurs *mélasses* et fabriquèrent du rhum ainsi que du tafia. Imitant cette pratique, l'Europe entreprit d'extraire l'alcool des mélasses de betteraves. La fabrication de l'alcool fut même assez longtemps le seul mode pratique d'utilisation des mélasses indigènes. Depuis, la sucraterie est venue mettre en danger l'existence des distilleries de mélasses, qui ont pu cependant conserver leurs positions, du moins en France, par suite de mesures fiscales nouvelles.

En général, le mode le fermentation est le même pour la mélasse indigène que pour la mélasse coloniale. Après avoir étendu d'eau la matière sucrée, ordinairement à chaud et par la vapeur (souffleur Kœrting), on corrige l'alcalinité du liquide au moyen d'un acide et on met la masse en fermentation à l'aide de levure. Dans certains pays, on se sert, pour la mise en fermentation, du moût de grains, de pommes de terre ou de betteraves.

L'acide de neutralisation était autrefois l'acide sulfurique; plus tard on a eu recours à l'acide chlorhydrique.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Dès le début du siècle, les procédés de distillation des *matières farineuses* étaient parvenus empiriquement à un assez haut degré de perfection, dans les pays du Nord. Cette distillation, après avoir longtemps végété en France, a fini par y prendre une grande importance.

C'est l'amidon qui est destiné à fournir l'alcool. Toutefois il n'est pas fermentescible et doit être au préalable transformé en un sucre susceptible de fermenter. Divers moyens sont mis en œuvre pour opérer cette transformation : le plus ancien et le plus répandu a pour base l'action du malt ou orge germée sur l'empois d'amidon; un autre est celui de l'ébullition prolongée avec de l'eau acidifiée.

Les anciens connaissaient le pouvoir qu'a l'orge germée de convertir les grains en boissons fermentées. Mais le principe actif de cette conversion n'a été isolé qu'en 1833 par Payen et Persoz, qui lui ont donné le nom de *diastase*.

Pour subir utilement l'action de la diastase, l'amidon est avant tout amené à l'état d'empois finement divisé. Aussi le grain et les pommes de terre sont-ils soumis à la cuisson et à la division : ces opérations ont été récemment perfectionnées par l'introduction dans la pratique des appareils Hollefreund, Henze, etc.

Jadis on se contentait d'accroître par la mouture les surfaces d'attaque de l'amidon. La farine, additionnée d'eau tiède, passait à l'état de pâte; des additions successives d'eau chaude la portaient à la température de saccharification. Le malt sec, seul en usage, était mélangé à la farine dans une forte proportion qui souvent dépassait 20 p. 100. Pendant la saccharification, dont la durée atteignait deux heures ou deux heures et demie, on mettait la masse en mouvement, soit à bras au moyen de fourquets, soit plus tard à l'aide d'agitateurs mécaniques.

Les divers procédés de l'Allemagne, de la Belgique, de la Hollande ne différaient entre eux que par la durée et la température de la macération, ou par le dosage de l'eau.

Une fois la saccharification terminée, il restait à refroidir le moût et à l'amener ainsi au point le plus favorable pour la mise en fermentation. Au début, alors que la saccharification et la fermentation se

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

faisaient dans la même cuve, le refroidissement s'obtenait par agitation et addition d'eau froide. Ensuite on employa des bacs refroidissoirs spéciaux agissant par évaporation; l'adjonction à ces bacs d'agitateurs puissants et de ventilateurs fut un progrès sensible. On imagina enfin les réfrigérants tubulaires ou les serpentins à circulation d'eau froide, placés soit en dehors, soit à l'intérieur de la cuve de saccharification.

Le levain de malt sec était presque exclusivement utilisé pour la mise en fermentation du moût. En général le ferment opérait très vite; au bout de deux heures, une mousse blanche apparaissait déjà à la surface; la fermentation violente, commencée de la quatorzième à la seizième heure, s'achevait vers la vingtième, puis était suivie de la fermentation complémentaire.

Une autre méthode également ancienne et particulière aux distillateurs anglais consistait à traiter les grains dans une grande cuve à double fond et à en faire des extraits que l'on soumettait à la fermentation, après les avoir refroidis en procédant à peu près de la même manière que pour la fabrication de la bière (méthode à moûts clairs). On faisait d'ailleurs varier la proportion de grains préalablement germés.

Quant aux pommes de terre, dont l'emploi comme substance productive d'alcool, ne remonte pas au delà du commencement de ce siècle, la différence entre leur mode de traitement et celui des grains résidait surtout dans les opérations préliminaires ayant pour but de les préparer à l'action de la diastase. Le mode habituel de division était de soumettre les tubercules à la vapeur jusqu'à ce qu'ils fussent cuits, puis de les broyer entre des cylindres en bois, en pierre ou en fonte, après quoi ils allaient à la saccharification dans une cuve ouverte.

Le travail par le malt s'étant bien plus généralisé en Allemagne qu'en France, les appareils et les procédés les plus parfaits nous sont venus de ce pays. Les matières amylacées y subissent partout une cuisson sous pression, dans des cuiseurs souvent munis d'agitateurs mécaniques. Hollefreund songea le premier à utiliser la vapeur sous

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pression pour ses cuiseurs de Pesth (1871); il réunit en un seul les divers appareils jusque-là employés à la cuisson, au broyage et à la saccharification. Le procédé d'Hollefreund se répandit promptement et reçut de C.-G. Bohm divers perfectionnements. Henze démontra bientôt l'inutilité de recourir à des dispositions compliquées pour produire un broyage complet; il établit que la vapeur permettait à elle seule d'obtenir un empois ne contenant pas de grains non broyés (1873). Ellenberger adjoignit au cuiseur Henze le *hollandais*, appareil de broyage rotatif en usage dans les papeteries; cette idée donna naissance aux broyeurs centrifuges actuels, tels que les broyeurs Lwowski (1876), Pauksch (1877), disposés dans la cuve à saccharifier, ou le broyeur Bohm (1877), adapté extérieurement à la cuve. Le système Henze s'est propagé rapidement, grâce à sa simplicité; actuellement il est le plus usuel, soit seul, soit combiné avec un appareil de broyage.

Presque toutes les grandes usines possèdent aujourd'hui des cuiseurs sous pression, non seulement pour les pommes de terre, mais encore pour les grains; elles ont abandonné l'outillage considérable qu'exigeait la mouture. Le traitement dans les appareils sous pression a fourni d'excellents résultats, en particulier pour le maïs, dont la distillation a pris un si puissant essor, tant à cause des abondantes récoltes d'Amérique, de Hongrie et des provinces danubiennes, qu'en raison de l'aptitude des résidus à accroître la valeur nutritive des drêches de pomme de terre.

Des modifications ont été apportées aux cuves à saccharifier. En général, ces cuves comportent un broyeur accolé ou un broyeur intérieur, qui parfois permet de supprimer les agitateurs; toutes sont aménagées pour produire la réfrigération des moûts, non seulement pendant la décharge du cuiseur et la saccharification proprement dite, mais aussi après cette opération, afin d'amener le jus sucré à la température que nécessite la fermentation : à cet effet, on les munit de réfrigérants tubulaires, de poches réfrigérantes, de doubles enveloppes. La marche méthodique du jus et de l'eau dans les réfrigérants s'est aussi perfectionnée.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Il y a lieu encore de signaler l'amélioration des appareils à broyer le malt.

La fermentation se provoque toujours, soit au moyen de levure de bière, soit par un levain artificiel préparé avec du malt saccharifié et devenu acide. Cette préparation appelle des soins particuliers suivant la concentration des moûts et la rapidité de fermentation; mais je ne puis m'y arrêter ici, non plus qu'aux différentes méthodes de fabrication de la levure, méthode hollandaise, méthode autrichienne, etc.

Nous venons d'étudier sommairement la saccharification des matières amylacées par le malt. Passons à la saccharification par les acides.

La conversion de l'amidon en sucre fermentescible par ébullition avec l'acide sulfurique étendu a été découverte par le chimiste russe Kirchoff (1812). Pendant quelques années, les distillateurs français ont appliqué la saccharification des grains par les acides sulfurique, chlorhydrique ou autres, en remplacement de l'orge maltée. Mais cette méthode a pour l'agriculture le grave défaut de donner des résidus chargés de la chaux qui a servi à saturer l'acide et impropres à la nourriture des bestiaux.

Pour le riz, la saccharification par les acides est souvent employée : il s'agit en effet d'une distillation n'ayant pas le caractère d'industrie agricole et ne reposant point sur la valeur des vinasses comme aliment. L'Italie recourt largement aux acides pour le travail du maïs, à cause des difficultés qu'elle éprouve à faire de bon malt. Enfin le procédé trouve des applications nombreuses dans la saccharification de la fécule pure.

Un distillateur français, M. Billet, a modifié le traitement par les acides de manière à rendre les résidus utilisables pour l'alimentation du bétail. Il se sert de l'acide muriatique, sature l'acide en excès par la chaux et fait passer le moût à travers des filtres-presses qui séparent les matières en suspension; les tourteaux, lavés et pressés à nouveau, peuvent être utilisés pour la nourriture des bestiaux ou l'extraction de l'huile.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Aujourd'hui la saccharification par les acides se fait ordinairement à haute température, en vase clos. On emploie les cuiseurs perfectionnés en usage pour la préparation des empois de grains destinés à être traités par le malt; les appareils doivent être en cuivre.

c. *Distillation des moûts sucrés. Rectification des flegmes.* — Après la fermentation, l'alcool se trouve dilué dans le moût fermenté ou *vin*, et il ne s'agit plus que de l'obtenir à l'état pur et concentré.

La *distillation*, c'est-à-dire l'opération ayant pour objet d'amener le moût à la température d'ébullition et d'en condenser les vapeurs, permet de séparer entièrement l'alcool des matières non volatiles (sucre non fermenté, sels, levure, produits divers formés pendant la fermentation). Toute la partie non volatile et l'eau qui reste dans l'appareil de distillation constituent la *vinasse* ou résidu de distillerie. Le produit brut de la distillation (*flegmes*) est encore pauvre et a besoin de subir une concentration; il contient d'ailleurs de nombreuses impuretés, entre autres de l'alcool amylique, des éthers et des aldéhydes, qu'il faut éliminer quand l'alcool doit entrer dans la consommation de l'homme.

J'ai dit précédemment les diverses phases par lesquelles est passé l'art de la distillation, avant de prendre rang parmi les grandes industries. En trouvant le moyen d'obtenir par une seule opération des flegmes d'un degré alcoolique élevé, Adam avait accompli une véritable révolution. Cependant son appareil, bien qu'il marquât un premier pas dans la voie du progrès, n'avait encore ni la puissance ni la continuité parfaite indispensables à une forte production. Ménard et Aligre réunirent en une colonne horizontale la série des vases analyseurs de cet appareil. Puis Cellier-Blumenthal eut, en 1813, l'idée de faire circuler les vapeurs à travers une série de plateaux superposés et chargés d'une mince couche de vin; ces plateaux étaient sans cesse alimentés par du vin chaud qui coulait de l'un à l'autre, en laissant évaporer son alcool; le résidu se rendait à la chaudière, d'où le vin dépouillé d'esprit s'échappait sans interruption par une ouverture latérale; la colonne formée par les plateaux

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

se divisait en deux parties, l'une de distillation, l'autre de rectification. Tel fut le premier *appareil continu à colonne,* que Cellier-Blumenthal parvint bientôt à appliquer aux moûts épais comme aux moûts clairs.

Une des premières améliorations postérieures consista à remplacer le chauffage à feu nu par le chauffage à la vapeur, circulant dans un serpentin ou directement injectée dans le moût.

Les appareils à colonne, définitivement adoptés en France, reçurent des perfectionnements successifs de Ch. Derosne (1818), de Dubrunfaut, de Champonnois et surtout de Savalle. Ce dernier eut pour objectif principal d'assurer la régularité du travail; il adapta à ses appareils un régulateur automatique d'admission de la vapeur de chauffage et employa un organe analogue pour l'eau du condenseur.

Depuis une vingtaine d'années, les appareils de distillation à colonne ont atteint un tel degré de perfection qu'on ne peut plus aujourd'hui constater que des améliorations de détail. Tous comprennent des régulateurs de vapeur, des régulateurs d'alimentation, des contrôleurs de l'épuisement des vinasses. Les plus répandus en France sont ceux des maisons Savalle, L. Fontaine, Égrot, etc.

Les Anglais se servent généralement de l'appareil Coffey, composé de deux colonnes en bois doublé de cuivre, dépendant l'une de l'autre et faisant fonction, la première, de colonne distillatoire proprement dite, la seconde de rectificateur.

En Allemagne, les systèmes présentent plus de variété et répondent aux exigences spéciales du travail à moûts épais.

Pistorius, qui a donné de si larges bases à la fabrication allemande de l'alcool, introduisit le premier dans son pays l'emploi de deux chaudières et d'un appareil à déflegmation et rectification simultanées. Ses appareils supplantèrent rapidement tous leurs concurrents et ne furent détrônés que par les appareils continus à colonne. Nombre de petites usines ou exploitations agricoles en demeurent encore pourvues.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Quant aux appareils à colonne que possèdent maintenant les distilleries importantes, ils sont presque tous dérivés de la colonne Savalle : je citerai, parmi les plus usités, ceux de Bohm, de Christoph de Nisky, de Schmidt (surtout en Hongrie), ainsi que la colonne Ilgès [1], où le vin, au lieu de descendre en couche mince de plateau en plateau, forme une nappe continue.

Quel que soit leur degré, les flegmes obtenus à la distillation sont toujours impurs. Ils renferment, en plus ou moins grande proportion, des éthers et des aldéhydes, plus volatils que l'alcool éthylique ou alcool de vin, ainsi que de l'alcool amylique ou fusel, de l'alcool propylique, de l'alcool butylique, etc., dont la volatilité est au contraire inférieure à celle de l'alcool éthylique.

Ces éléments d'impureté proviennent en partie des matières premières employées, en partie des levures qui ne sont pas absolument saines, en partie aussi du travail des fermentations secondaires.

La *rectification* de l'alcool brut a pour but de les éliminer et consiste en une nouvelle distillation. Comme les divers corps volatils composant le mélange ne se séparent pas exactement à la température d'ébullition de chacun d'eux, on conçoit qu'une seule opération soit insuffisante et qu'il faille plusieurs opérations successives pour extraire des flegmes la presque totalité de leur alcool. Les appareils à rectifier sont d'autant plus parfaits qu'ils donnent du premier jet une plus grande quantité d'alcool, moyennant une moindre dépense. Ce résultat ne peut être atteint que par une ébullition douce, propre à éviter les entraînements, par une série de refroidissements bien ménagés des vapeurs et par un fractionnement attentif des produits. Ainsi la rectification se prête difficilement à la continuité.

En rectifiant les flegmes, on obtient d'abord les *produits de tête*, c'est-à-dire les corps dont le point d'ébullition est inférieur à celui de l'alcool (éthers); puis on recueille l'*alcool bon goût*, qui lui-même n'est pas de qualité uniforme pendant toute la durée de son écoulement à

[1] C'est Ilgès qui a construit le premier régulateur d'alimentation.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'éprouvette; enfin viennent les *alcools de queue*, formés par un mélange d'alcools supérieurs moins volatils que l'alcool éthylique. La plus grande partie de l'alcool amylique reste dans la chaudière.

Tout appareil à distiller est capable de servir à la rectification, pourvu qu'il permette ces condensations ménagées. Néanmoins le but spécial à atteindre et la nature des produits mis en œuvre ont fait adopter pour les appareils de rectification quelques dispositions particulières. Ces appareils comprennent, de même que ceux de distillation, une chaudière, une colonne et un condenseur; mais, si les organes sont semblables, leur puissance est supérieure. Généralement le chauffage se fait par un serpentin; il n'y a pas toujours de chauffe-vin. Presque tous les modèles aujourd'hui en usage dérivent du type Savalle.

Plusieurs tentatives ont été faites pour rendre la rectification continue et pour obvier à la perte de temps et d'alcool, ainsi qu'à la dépense excessive de combustible inséparables de la rectification intermittente. Le problème paraît avoir été résolu par la maison Fontaine et par son collaborateur E. Barbet, grâce à leur *épurateur* et à leur *rectificateur* continus, dans lesquels les flegmes se débarrassent successivement de leurs éthers, puis des produits moins volatils que l'alcool de vin.

Malgré la perfection relative des appareils de rectification, la marche ordinaire de l'opération entraîne, quoi qu'on fasse, une perte importante d'alcool vinique. Afin d'améliorer le travail, on a mis à l'épreuve divers procédés, ayant pour but d'épurer les flegmes avant de les soumettre à la rectification finale. La plupart de ces procédés font intervenir des agents chimiques qui engendrent des produits secondaires et communiquent à l'alcool une odeur et une saveur désagréables; d'autres, basés sur l'emploi de l'électricité, n'ont pas jusqu'ici donné des résultats très satisfaisants.

Une méthode déjà ancienne, mais très usitée surtout en Allemagne, bien qu'elle présente des inconvénients, consiste à filtrer les flegmes sur du charbon de bois. Il en est une autre, celle du traitement par

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des hydrocarbures lourds de pétrole (Bang), dont la mise en pratique ne remonte qu'à une date récente et qui semble préférable à ses devancières.

Par suite des améliorations successives réalisées dans la distillerie, beaucoup d'usines arrivent à fabriquer des alcools neutres, complètement débarrassés de leurs impuretés et possédant une grande finesse d'odeur et de saveur. Cette qualité, si justement recherchée, est due non seulement aux matières premières mises en œuvre et aux appareils distillatoires, mais encore aux découvertes de la science qui ont guidé l'industriel dans la préparation des matières, dans le choix des levures, dans la conduite des fermentations.

L'application aux betteraves du procédé de la diffusion, la cuisson des matières amylacées à haute pression, les perfectionnements du matériel et des procédés de saccharification par le malt ou par les acides, la sélection des levures, le contrôle des opérations par les chimistes des laboratoires que les industriels annexent à leurs établissements, ont eu pour effet de diminuer notablement la proportion des impuretés et d'élever le rendement en alcool extra-neutre.

d. *Utilisation des résidus de distillerie.* — Le résidu de la distillation est le vin dépouillé de l'alcool qu'il contenait, c'est-à-dire la *vinasse* ou *drêche,* où se trouvent tous les éléments du jus saccharifié, moins l'amidon ou le sucre qui s'est transformé en alcool pendant la fermentation. Comme les substances azotées, grasses ou minérales n'ont pas été altérées, la vinasse conserve une grande partie de la valeur nutritive des matières premières.

Quand la saccharification a été opérée par le malt, le résidu est immédiatement utilisable pour la nourriture des animaux. Lorsqu'elle a été faite par les acides, le résidu ne peut s'utiliser qu'au prix d'un traitement généralement coûteux; d'autre part son inutilisation constitue pour le distillateur une source d'embarras; depuis longtemps déjà on recourt à la décantation et on emploie les parties solides à titre d'engrais, soit pâteux, soit en tourteaux pressés.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les résidus provenant du maïs, du riz, etc., contiennent une assez forte proportion d'huile qu'il est intéressant d'extraire. Différents procédés ont été récemment imaginés pour cette extraction et ont permis d'abaisser le prix de revient de l'alcool.

De même que les vinasses de grains, les pulpes ou cossettes de betteraves, d'où on a extrait le jus sucré, ont une haute valeur nutritive. Les vinasses de betterave servent comme engrais en irrigation.

Les vinasses de mélasse n'ont pas de valeur en qualité d'aliments azotés. On a réussi à les utiliser dans la fabrication du carbonate de potasse, de l'ammoniaque et des engrais. C'est Dubrunfaut qui a créé l'industrie de l'extraction des salins de vinasse. En évaporant la masse et calcinant le résidu, on obtient un salin riche en carbonate de potasse, qu'il suffit de raffiner pour avoir de la potasse assez pure.

Jusqu'à ces derniers temps, la calcination des vinasses dans des fours ouverts (fours Porion) était seule en usage. Vincent a imaginé de distiller les vinasses concentrées en vase clos et de recueillir les gaz qui peuvent être condensés. Dans le liquide complexe goudronneux, ainsi obtenu, se trouvent, entre autres produits, de l'alcool méthylique, de l'ammoniaque et des méthylamines à l'état de carbonate, de cyanhydrate, de chlorhydrate, de sulfhydrate, etc. Le sel ammoniacal est extrait du mélange; la triméthylamine et la diméthylamine sont ensuite converties en chlorure de méthyle.

7. Brasserie. — La bière est une boisson fermentée qui se tire des céréales. Ses origines remontent à la plus haute antiquité.

En étudiant la vieille Égypte, cette terre des moissons abondantes, on y trouve déjà le *vin d'orge,* suivant l'expression de Diodore de Sicile et d'Hérodote. Les Égyptiens transmirent l'usage de la bière aux Hébreux. Plus tard, les auteurs grecs et latins firent souvent mention de la bière et des boissons analogues, qu'ils regardaient comme propres aux peuples barbares. L'historien Orose, qui vivait au commencement du v^{e} siècle après J.-C., a même laissé une description tout à fait technique des opérations du maltage et du brassage.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Dans les pays du Nord et spécialement dans les régions habitées par la race germanique, la bière constituait, de même que l'hydromel, une boisson favorite, sorte de liqueur nationale, breuvage des fêtes, passe-temps des heures d'oisiveté, nectar dont étaient censés s'abreuver les dieux et les héros.

Sous la domination romaine, l'industrie de la bière florissait dans les Gaules et en Belgique; elle y résista ensuite aux invasions.

Au moyen âge, la brasserie continua à prospérer, surtout en Belgique, où la fabrication et la consommation avaient pris beaucoup de développement. Elle n'occupait point, sans doute, de vastes établissements comme aujourd'hui, mais s'exerçait chez une foule de propriétaires et de cabaretiers.

Il est impossible de déterminer l'époque à partir de laquelle les herbes aromatiques se sont introduites dans la bière. Ce que l'on sait, c'est qu'après les Croisades l'usage des parfums et des épices, rapporté de l'Orient, poussa les brasseurs à rehausser le goût de leurs bières à l'aide d'aromates et d'extraits amers de tout genre.

D'après les recherches faites par le docteur T.-O. Cech, de Moscou, nous devrions à la Russie le houblon et son emploi en brasserie. Le traité de paix conclu en 985 entre le tsar Wladimir et les Bulgares contient un passage caractéristique, aux termes duquel « la paix « durera jusqu'à ce que les pierres viennent à flotter et le houblon à « descendre au fond ». Importée en Bavière et en Bohême, la culture du houblon y réussit merveilleusement; elle s'étendit aux Flandres et à l'Angleterre, vers le commencement du XVI^e^ siècle; puis elle pénétra en Alsace à la fin du siècle dernier.

On ne possède de notions quelque peu précises sur la fabrication de la bière en France qu'à partir du XII^e^ siècle. Au siècle suivant, les *Registres des mestiers* comprennent dans leurs nomenclatures les *cervoisiers* ou brasseurs de cervoise; mais les règlements relatifs à la profession ne mentionnent pas l'emploi du houblon. Cet emploi n'apparaît qu'au XV^e^ siècle, par exemple dans les statuts des brasseurs de Rouen (1456). En 1514, les statuts des brasseurs parisiens, approuvés par Louis XII, prescrivaient l'inspection des levures et la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

visite du houblon. Dans sa réorganisation de l'industrie française, Colbert ordonna la visite des brasseries, quatre fois au moins par an; ce fut aussi Colbert qui contresigna l'ordonnance royale de septembre 1686, autorisant l'usage des levures de brasserie dans la préparation du pain.

Les Anglais paraissent avoir entrepris la fabrication de la bière au commencement du XVI^e^ siècle; ils reçurent des Flamands les principes de cette industrie. Cent ans plus tard, l'Angleterre et les Pays-Bas jouissaient d'une grande et légitime réputation. La Grande-Bretagne a du reste maintenu sa supériorité jusqu'à l'époque contemporaine.

En Allemagne, les Bavarois avaient d'importantes brasseries dès le X^e^ siècle. La Bavière et le Wurtemberg sont à peu près les seuls pays allemands où la fabrication de la bière ait prospéré et donné de bons produits avant le milieu de ce siècle. Jusqu'en 1858, l'Allemagne du Nord ne connaissait guère que les petites bières à fermentation haute, pour la plupart acides.

La première brasserie créée à Vienne date de 1296; mais il n'y a pas plus d'une trentaine d'années que les bières autrichiennes ont acquis leurs qualités actuelles.

Il ne saurait entrer dans le cadre de cette étude de passer en revue tous les progrès par lesquels est passée l'industrie de la bière pour atteindre sa perfection d'aujourd'hui. D'ailleurs, avant que les sciences physiques et chimiques eussent pris leur épanouissement, le hasard, l'observation, l'empirisme, étaient les seuls guides du brasseur. Ici, comme en beaucoup d'autres matières, la pratique a devancé la théorie; les savants ont eu plutôt à expliquer des phénomènes connus et à améliorer les conditions dans lesquelles se réalisent ces phénomènes, qu'à créer de toutes pièces des opérations nouvelles.

Je me bornerai donc à jalonner les étapes principales. Mais il me faut avant tout rappeler sommairement les principes fondamentaux sur lesquels repose la fabrication.

Quand ils ont subi un commencement de germination, les grains de céréales et spécialement d'orge éprouvent des modifications remar-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

quables au contact de l'eau tiède. La matière amylacée qu'ils renferment, saccharifiée, solubilisée par la *diastase* à laquelle la germination a donné naissance, produit un *moût sucré.* Celui-ci, à son tour, sous l'influence de la *levure* dont l'air lui apporte les germes, se transforme rapidement en une boisson fermentée, alcoolique et gommeuse.

Le développement fortuit de ces transformations a fait jadis découvrir la bière; leur développement intentionnel constitue la fabrication moderne. Tous les efforts de l'homme ont eu pour objet de régulariser l'œuvre de la nature et d'en coordonner les éléments.

Aux diverses phases, aux différentes réactions précédemment indiquées correspondent des manipulations distinctes. Ce sont le *maltage,* ou germination des grains; le *brassage,* qui détermine la saccharification des matières amylacées par l'action de l'eau tiède et de la diastase; la *coction,* qu'accompagne le *houblonnage;* enfin la *fermentation.*

Toutes les céréales sont aptes à produire de la bière : le blé, le seigle, l'orge, l'avoine peuvent donner des bières ayant leurs qualités spéciales; on a même essayé l'emploi du maïs, du riz, des fécules de pomme de terre. Cependant l'orge se prête mieux que les autres matières aux opérations de la brasserie; aussi est-elle à peu près exclusivement utilisée de nos jours.

Imprégnée d'eau dans toute sa masse, l'orge est étendue sur le sol de vastes pièces où elle entre promptement en germination. Au sein du grain se forme une matière azotée, la *diastase,* qui a été découverte par Payen et Persoz, et qui possède la propriété de transformer, au contact de l'eau tiède, l'amidon en dextrine et glucose.

Quand la germination atteint le degré voulu, l'orge est soumise à l'action de l'air chaud dans une grande chambre ou *touraille;* elle y perd sa puissance germinative, et la conservation s'en trouve assurée. L'orge germée et séchée reçoit la dénomination de *malt.* Avant d'aller au brassage, le malt doit être moulu; cette mouture se fait dans un moulin à meules ou mieux dans un broyeur à cylindres.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le *brassage* exige beaucoup d'habileté. On sait que le malt contient, d'une part, de l'amidon inaltéré avec une petite proportion de dextrine et de sucre, et d'autre part, de la diastase. Il s'agit d'établir un contact intime entre l'amidon et la diastase. L'eau constitue à cet effet un véhicule excellent; elle doit être chauffée parce qu'en présence de l'eau froide l'amidon ne se transforme que très lentement. Mais en poussant trop haut la température, on compromettrait le succès de l'opération : en effet, aux environs de 75 degrés, la diastase perd toute énergie saccharifiante. Aussi le brasseur est-il obligé de prendre d'extrêmes précautions, de ne pas atteindre du premier coup la température limite, de procéder par affusions successives. Ces affusions s'effectuent par deux méthodes différentes, dites d'*infusion* et de *décoction*.

Des deux méthodes usuelles, la première, qui est celle de la brasserie anglaise et qu'employait aussi l'ancienne brasserie française, comporte en général deux trempes ou infusions successives. On brasse d'abord dans la *cuve-matière*, avec de l'eau préalablement chauffée, le malt délayé à l'eau froide; ce brassage, jadis exécuté au moyen de fourquets et de vagues, se fait maintenant par des agitateurs mécaniques. La diastase se dissout, l'amidon se gonfle et devient attaquable, enfin le moût sucré se produit. Quand la réaction est terminée, on écoule le moût hors de la cuve et on recouvre le résidu ou *drêche* d'une nouvelle quantité d'eau presque bouillante, pour réaliser une deuxième infusion dont le produit va rejoindre le moût de l'infusion précédente.

Toute différente est la méthode par décoction. Elle consiste à faire cuire le malt, au moins partiellement, avec le moût auquel il donne naissance. Le brassage est commencé à plus basse température; les trempes sont plus nombreuses, et l'on en compte trois, quatre, parfois cinq; les affusions successives se font, non à l'aide d'eau neuve préalablement échauffée, mais au moyen du moût lui-même qui se rend, par portions successives, dans une chaudière spéciale où il est porté rapidement à l'ébullition et devient ainsi le liquide réchauffeur achevant la saccharification. Ce procédé, aujourd'hui le plus répandu,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

a exclu la méthode par infusion en Allemagne et en Autriche; nos grandes brasseries françaises l'ont généralement adopté.

Au sortir de la cuve-matière, le moût emporte, complètement transformées en produits nouveaux, la matière amylacée et les substances protéiques de l'orge. Il ne renferme plus que du sucre, de la dextrine et des substances azotées solubles, dont les unes resteront en dissolution dans la bière et contribueront à sa valeur nutritive, tandis que les autres devront être éliminées.

Une opération importante prend place à ce moment, celle du houblonnage. Son but est de communiquer à la bière, par l'addition de fleurs de houblon, une légère amertume qui en facilite la conservation et un parfum spécial que recherchent les consommateurs.

Ce double résultat s'obtient par la *coction*. Le moût, débarrassé de sa drêche, est soumis à l'ébullition dans des chaudières spéciales et là additionné de houblon. Ces chaudières sont le plus souvent chauffées à feu nu; néanmoins un certain nombre de brasseurs, notamment en Autriche, ont adopté la cuisson à la vapeur, dont M. Jacobsen père, de Copenhague, a été l'apôtre.

Quand la cuisson du moût est achevée, on le dirige sur les *refroidissoirs*.

Le refroidissement doit être aussi rapide que possible, afin d'éviter l'altération du moût. De grands bacs, autrefois en bois, maintenant en tôle, offrant peu de profondeur et situés dans des greniers bien aérés, reçoivent le liquide qui, au bout de quelques heures, est retombé à la température ambiante et s'est en même temps clarifié.

Si la fabrication a lieu en hiver, cette température peut être assez basse pour permettre la mise en train de la fermentation. En été, il est nécessaire de soumettre le moût à un refroidissement artificiel : des appareils réfrigérants ont été imaginés à cet effet; le moût y arrive en nappes minces sur des surfaces métalliques constamment refroidies par un courant d'eau glacée. On arrive ainsi à obtenir des liqueurs assez froides pour pouvoir subir sans danger la *fermentation*.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Cette opération, qui, sous l'influence de la levure de bière, transforme en alcool le sucre du moût, s'accomplit de diverses manières.

On peut faire fermenter le moût à la température ordinaire ou à une température relativement basse. Ces deux modes de fermentation, auxquels correspondent deux types différents de levure, la levure haute et la levure basse, donnent naissance à deux grands procédés de fabrication, celui de la *fermentation haute* et celui de la *fermentation basse*.

La *fermentation haute* constitue à la fois la méthode la plus ancienne, la plus facile et la plus naturelle. Réuni dans une grande cuve découverte ou cuve-guilloire, à la température de 20 degrés environ, le moût de bière est additionné de levure. Lorsque la fermentation commence à s'accuser par la formation d'une légère mousse blanche à la surface du liquide, on distribue le moût dans de petits tonneaux ou *quarts*. Ces tonneaux sont eux-mêmes placés dans des celliers à la température de 18 ou 20 degrés; la fermentation s'y achève et rejette la levure par le trou de bonde. Tel est du moins le procédé le plus usuel; certaines brasseries françaises emploient exclusivement de grandes cuves et ne se servent pas de quarts.

Jadis toute la bière était à fermentation haute. Les fabriques de Paris, de Lyon, de l'Allemagne du Nord, de la Belgique, n'opéraient pas autrement. C'est encore ainsi que se font les bières anglaises : en Angleterre, la première fermentation a lieu dans des cuves de dimensions colossales, d'où on fait passer le moût dans des cuves de moindre capacité, pour recueillir la levure.

La brasserie de *fermentation basse*, très récente en France, a été introduite à Munich au xv^e^ siècle. Elle comporte une fermentation lente, à basse température, pendant laquelle la levure se dépose au fond des cuves ou des tonneaux. Refroidi à 6 ou 8 degrés, le moût est distribué dans des cuves en bois découvertes, où on le maintient à la même température au moyen de *nageurs* ou cônes renversés contenant de la glace. La durée de la fermentation atteint dix, quinze et même vingt jours.

Il existe plusieurs variétés de bières à fermentation basse, suivant

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la couleur et la richesse du moût. Depuis une quarantaine d'années, le goût des consommateurs en a constamment développé la production; elles présentent d'ailleurs des avantages au point de vue des facilités commerciales. Aujourd'hui on peut dire que c'est le seul mode de fabrication en Autriche, en Bavière, en Prusse, etc. ; la brasserie française se trouve partagée entre l'ancien et le nouveau système.

Je me borne à signaler, en passant, certaines différences entre les deux genres de bières, au point de vue du mode de préparation et de la composition du moût. Le brassage des bières à fermentation haute se fait par infusion, tandis que le brassage des bières à fermentation basse s'effectue par décoction. En outre, le moût à fermentation haute subit une cuisson plus prolongée.

Le procédé de la fermentation basse a profondément modifié les installations et le travail habituel des brasseries.

Comme la bière fabriquée par cette méthode ne se fait pas seulement, mais se consomme aussi à basse température, il faut des caves-glacières, où la température soit maintenue très basse pendant toute l'année, ce qui oblige à d'énormes amoncellements de glace et à des emplacements étendus pour recevoir les foudres. On n'estime pas à moins de 100 kilogrammes la quantité de glace que demande un hectolitre de bonne bière, depuis le refroidissement du moût jusqu'à la livraison.

L'emploi de la glace naturelle présente des inconvénients, dont le moindre n'est pas le défaut d'uniformité dans la température des caves et des liqueurs refroidies. A l'apparition des machines frigorifiques, on a eu l'idée de remplacer la glace naturelle par de la glace faite artificiellement; mais ce n'était qu'un demi-remède. Au contraire, le refroidissement des moûts et des caves de garde, par circulation d'eau glacée ou d'un liquide incongelable dans des serpentins, a donné depuis dix ans des résultats si satisfaisants que la plupart des brasseurs ont renoncé à l'emploi direct de la glace.

Avec la fermentation haute, on ne rencontre aucune de ces exi-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

gences, de ces complications, de ces dépenses d'installation propres à la fermentation basse. En huit jours, la bière est fabriquée et livrée.

D'où vient donc l'abandon progressif d'un mode de fabrication si simple, si rapide et relativement si peu coûteux, pour un autre procédé à tant d'égards désavantageux? Cela résulte de ce que les bières à fermentation basse sont plus fines de goût et de parfum, moins altérables, moins sujettes à contracter des maladies, surtout pendant leur séjour dans la brasserie. Les bières à fermentation haute doivent être consommées promptement, et le brasseur est par suite tenu de les fabriquer au fur et à mesure de la demande nécessairement variable : ce sont des conditions défectueuses pour l'industrie qui a besoin de plus d'uniformité dans sa production, sinon dans l'écoulement de ses produits. Au contraire, les bières basses peuvent être livrées assez longtemps après leur fabrication.

Quant aux causes premières qui dotent les bières basses de leur finesse de goût et de parfum, de leurs qualités de conservation, elles ne sauraient être douteuses depuis les admirables travaux de M. Pasteur. Ainsi que l'a montré cet illustre maître, les altérations survenant dans la levure de bière, dans le moût et dans la bière elle-même, tiennent à la présence d'organismes microscopiques, dont la nature diffère profondément de celle des ferments de levure et qui, par les produits corrélatifs de leur multiplication, dénaturent les propriétés de ces substances et s'opposent dès lors à leur conservation. C'est donc aux ferments dits *de maladie*, spontanément mêlés aux ferments alcooliques, que sont dues les matières acides, putrides, visqueuses, amères, etc., si désagréables pour le palais des consommateurs. Or ces ferments de maladie apparaissent difficilement au-dessous de 10 degrés, température à laquelle leurs germes deviennent inertes; il y a là un fait physiologique, qui explique de la manière la plus évidente les avantages réalisés par l'emploi du froid dans les brasseries. Aux basses températures dont le maintien constitue la préoccupation incessante des brasseurs, la levure de bière peut seule vivre et se développer; seule aussi, la fermentation alcoolique peut franchement s'accomplir.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On retrouve jusque dans la mise en bouteille l'influence des germes de maladie. Pour garantir la bière en bouteille contre les dangers d'altération, on lui fait aujourd'hui subir un chauffage préalable, suivant le procédé de *pasteurisation*, imaginé par M. Pasteur pour le vin.

A côté de la méthode du froid, qui était pratiquée depuis longtemps, mais dont l'explication théorique n'a pu être fournie que par les travaux de M. Pasteur, ce savant en a imaginé une autre permettant d'obtenir, sans emploi de la glace, les mêmes résultats au point de vue de la conservation et de la fabrication des bières.

Le procédé nouveau, breveté en 1873, repose sur un principe simple, qui est le suivant. Tous les germes de maladie étant tués dans la chaudière de cuisson du moût, on doit réussir à préparer de la bière inaltérable, incapable de fermentation maladive, en évitant d'y introduire ensuite des germes de cette nature. Il suffit, pour cela, d'opérer sur une levure de bière physiologiquement pure, et de garantir le moût en fermentation, puis la bière fabriquée, contre l'apport de germes étrangers.

Bien qu'ayant donné de fort beaux résultats à Marseille, principalement pour les bières d'exportation, la méthode de M. Pasteur ne paraît pas se répandre.

Quoique le grand outillage de la brasserie n'ait pas subi de profondes modifications depuis 1878, l'industrie de la bière n'en a pas moins réalisé de sérieux progrès pendant la dernière période décennale. Les perfectionnements principaux ont porté sur le choix des matières premières, orge et houblon, ainsi que sur la conduite du brassage et de la fermentation.

Des efforts considérables ont été faits pour améliorer la culture et permettre la conservation du houblon. L'orge, mieux cultivée, est aussi mieux nettoyée. Il y a douze ans, le *maltage pneumatique*, qui permet de malter en toute saison, était seulement à ses débuts; ses applications se sont étendues dans le monde entier; c'est d'ailleurs le

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

système exposé à Paris en 1878 qui a fait abandonner le système allemand et autrichien, plus compliqué et plus coûteux. Le touraillage, dont l'influence est grande sur la richesse en extrait, sur la marche de la fermentation, sur la levure et sur l'arome de la bière, a donné lieu à des études approfondies.

L'introduction de la levure pure, pour la mise en fermentation, constitue un progrès capital. Avec les théories de M. Pasteur, le microscope a pénétré dans presque toutes les brasseries et sert à un examen attentif des levures.

Depuis une dizaine d'années, la baisse de prix des appareils à froid devait avoir inévitablement pour conséquence l'extension de l'emploi de ces machines. Les avantages obtenus ont été si considérables que, même dans les pays du Nord où la glace est abondante, on a supprimé les glacières.

La pasteurisation de la bière contribue puissamment à accroître l'exportation en bouteille vers les colonies et l'Amérique du Sud. Jusqu'ici les essais ayant pour objet la pasteurisation de la bière en fûts n'avaient pas réussi : l'Exposition de 1889 a montré un appareil qui résout le problème.

Enfin les sous-produits et résidus de la fabrication trouvent des débouchés bien plus étendus : la levure pressée s'expédie à grande distance et concurrence la levure de distillerie; les drêches séchées et les radicelles ont maintenant un cours commercial sur plusieurs marchés.

8. Machines à produire le froid. — a. *Considérations générales.* — La production et l'utilisation du froid ont pris de nos jours une extrême importance. Actuellement la construction des appareils frigorifiques constitue une véritable industrie, qui s'est spécialisée, sinon en France, du moins dans certains pays comme l'Angleterre, l'Allemagne et l'Amérique, au même titre que celle des machines à vapeur.

A en juger seulement d'après les résultats pratiques obtenus par cette industrie, il semble que nous soyons déjà bien loin de l'époque

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à laquelle M. F. Carré imaginait la première machine à produire le froid par la vaporisation de l'éther. Pourtant il y a trente ans à peine que l'appareil Carré a vu le jour et que la maison Mignon et Rouart, adoptant avec hardiesse le procédé nouveau, a inauguré l'ère des machines industrielles par des fournitures faites notamment à la Compagnie des produits chimiques du Midi. Si court qu'il soit, ce délai a suffi pour rendre le froid artificiel presque aussi facile à produire et à utiliser que la chaleur, pour en multiplier les applications, pour le répandre partout où l'homme éprouve le besoin d'une basse température, d'une circulation d'air sec et pur, partout où le danger des fermentations l'exige, partout où les substances organiques sont exposées aux altérations.

La fabrication de la glace et le refroidissement des caves ou des cuves de brasseries, qui formaient en 1878 presque tout le domaine du froid artificiel, ont atteint un tel degré de perfection qu'on n'a plus guère à attendre de progrès considérables. Aujourd'hui la glace s'est confinée dans la consommation directe comme boisson; tous les efforts se concentrent sur les moyens d'assurer une production régulière, rapide et peu coûteuse, par l'amélioration des appareils de démoulage et par la réduction des frais de main-d'œuvre. Le refroidissement des locaux ou des matières en fermentation, dans les brasseries, se fait par circulation d'eau glacée ou de liquide incongelable froid; cette méthode a réussi au point de déterminer la plupart des brasseurs à y recourir exclusivement.

Une application plus récente et à certains égards plus importante du froid artificiel est celle qui a pour objet la conservation des denrées alimentaires et spécialement des viandes. Elle date de 1873, année au cours de laquelle M. Tellier entreprit ses essais, mais n'a pris d'extension qu'en 1879, lors de l'installation des premières machines à air sur les navires affectés au transport des viandes exotiques. Cette industrie a largement progressé pendant la dernière période décennale; mais son dernier mot est loin d'être dit.

L'essor merveilleux des usages du froid devait nécessairement se répercuter sur la construction des appareils frigorifiques. Naguère

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

quelques ingénieurs, en très petit nombre, s'adonnaient seuls à cette branche des travaux mécaniques; la phalange a vu grossir ses rangs et compte au moins une centaine de constructeurs spéciaux tant en France qu'à l'étranger.

Des types nouveaux de machines ont été créés. En même temps, la puissance des appareils s'est accrue : vers 1875, une machine produisant 500 kilogrammes de glace à l'heure était une exception; maintenant les modèles propres à fournir 1,500 et même 2,000 kilogrammes de glace ou leur équivalent en calories négatives sont tout à fait courants. Les prix ont subi un abaissement notable. Enfin on doit porter à l'actif des dix dernières années une meilleure appropriation des engins aux besoins industriels, une simplification marquée des organes, une construction plus soignée et plus précise, un maniement plus facile, un rendement plus élevé, une réduction sensible des frais d'exploitation.

b. *Appareils industriels.* — Les appareils susceptibles de produire régulièrement, à bas prix et en quantité importante, un froid très intense reposent tous sur un principe général qui est le suivant.

Quand on dépense une certaine somme de travail ou, ce qui revient au même, une certaine somme de chaleur, pour comprimer un fluide élastique, la température de ce fluide tend à augmenter avec sa pression. Si, après avoir détruit cette élévation de température par le contact prolongé d'un courant d'eau froide, on laisse le fluide comprimé se détendre et reprendre son volume initial, la détente absorbe à son tour du travail et détermine un abaissement de température du fluide; celui-ci se trouve ainsi plus froid que les corps environnants. Mais le milieu ambiant lui abandonne aussitôt de la chaleur et se refroidit jusqu'à ce qu'il y ait équilibre de température. A ce moment, le cycle est complet et l'ensemble des calories dépensées équivaut mécaniquement au travail de compression.

Tous les appareils industriels de production du froid comprennent donc, comme organes principaux, un *compresseur,* un *refroidisseur* et un *détendeur-réfrigérant.*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ils se distinguent principalement par la nature du fluide mis en œuvre. C'est ainsi qu'on rencontre, d'un côté, les machines *à compression*, utilisant l'air ou les vapeurs liquéfiables, et de l'autre, les machines dites *à affinité*, reposant sur l'absorption d'un gaz par un dissolvant.

De toutes les machines à froid, ce sont les *machines à air* qui, avec les machines à vapeurs liquéfiables et surtout les machines à gaz ammoniac, ont donné lieu aux améliorations les plus nombreuses et les plus marquées.

L'air semble du reste offrir les conditions les plus avantageuses. Il se rencontre partout et sans dépense; son emploi ne présente aucun danger, aucune difficulté de conduite ou de manœuvre, et n'exige ni mécanisme compliqué, ni organes délicats, ni intermédiaire absorbant une partie du froid; les températures qu'il permet d'obtenir sont très basses; sa parfaite élasticité établit théoriquement une entière égalité entre le travail de détente et le travail de compression; enfin l'air froid produit peut servir directement à tous les usages industriels, quand il est sec.

En fait, le rendement pratique des machines à air reste sensiblement inférieur au rendement théorique. L'effet utile est loin de croître proportionnellement à la pression de marche; il demeure limité par les hautes températures qui se développent à la compression et augmentent d'autant le travail résistant. D'autre part, la température finale décroît très vite, à mesure que s'élève le degré de détente, et cette augmentation de l'écart entre les températures extrêmes du cycle détermine une diminution de rendement beaucoup plus rapide que l'accroissement de pression.

Un second inconvénient résulte de ce que la production du froid au moment de la détente congèle la vapeur d'eau contenue dans l'air, déterminant ainsi une gêne dans le fonctionnement des organes et une perte d'énergie frigorifique.

Enfin le rendement des machines à air est encore diminué par l'exagération des espaces nuisibles et les pertes de charge.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pour éviter de réduire le rendement dans des proportions incompatibles avec une marche industrielle, les constructeurs ont dû s'efforcer particulièrement de combattre, d'une façon continue et pendant toute la durée de la compression, l'échauffement progressif de l'air; ils se sont également attachés à la dessiccation de l'air comprimé. Ce sont là deux conditions essentielles, que l'on trouve soigneusement réalisées dans les machines de Windhausen (1869) et de Giffard (1873), qui peuvent être considérées comme les prototypes des appareils frigorifiques à air construits depuis en Angleterre, notamment des machines Hall (1880). Parmi les meilleures machines exposées en 1889, je citerai, outre les machines Giffard et Hall, la machine Bell-Coleman, la machine Lightfoot, la machine Bustin, la machine Haslam, la machine Popp.

Les gaz ou vapeurs liquéfiables constituent la catégorie d'agents frigorifiques la plus employée à l'époque actuelle; partout les appareils fondés sur leur emploi tendent à se substituer aux machines à air.

Dans ces appareils, le *refroidisseur* joue le rôle de liquéfacteur (la vapeur refroidie se liquéfiant dès que la pression à laquelle elle est soumise atteint le maximum de tension correspondant à la température de l'eau réfrigérante). La détente et par suite la vaporisation se produisent sous l'action du vide partiel opéré par l'aspiration d'une pompe.

Grâce à leurs températures finales moins basses, à leur chaleur latente de vaporisation plus élevée que la chaleur de détente de l'air, à leurs dimensions plus restreintes, à leurs espaces nuisibles et à leurs résistances passives moins considérables, à leur échauffement moindre pendant la compression, les machines à gaz liquéfiables ont un rendement supérieur à celui des machines à air.

Mais, les changements d'état successifs devant nécessairement se produire en vase clos, les organes sont plus nombreux et plus compliqués. En outre, l'utilisation du froid ne peut être directe; il faut recourir à l'intermédiaire de surfaces métalliques (serpentins), sou-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vent même y ajouter un second intermédiaire liquide, qui absorbe partiellement les frigories.

La surchauffe au compresseur, les espaces nuisibles, les fuites, tels sont les inconvénients principaux que les constructeurs se sont efforcés de combattre.

Tout d'abord, on employa des vapeurs d'éther : les *machines à éther* remontent à 1850 environ; je citerai notamment les machines Shaw, Siebe, Harrisson, Carré. Ces appareils se sont difficilement répandus à cause de l'inflammabilité et des tensions trop faibles de l'éther, qui les rendent dangereux et encombrants. Ils ont fini par être abandonnés, et la tendance générale, durant ces dernières années, a été de mettre en œuvre des liquides de plus en plus volatils, acide sulfureux, chlorure de méthyle, ammoniaque, acide carbonique, pour obtenir des froids plus intenses à l'aide de machines aussi réduites que possible. M. Pictet a même recommandé l'emploi de liquides binaires, dont les températures d'ébullition sont plus basses et les tensions de vapeur plus élevées.

M. Pictet, que je viens de citer, est l'inventeur de la *machine à acide sulfureux*, la première machine à compression d'un usage réellement pratique qui ait attiré l'attention du public à l'Exposition de 1878. Cet appareil, dont la création remonte à 1875, a reçu depuis lors des perfectionnements qui l'ont pour ainsi dire transformé.

C'est à M. Vincent (1880) que l'on doit la *machine à chlorure de méthyle*.

Les *machines à gaz ammoniac* datent de 1864, époque à laquelle M. F. Carré fit breveter son premier appareil à compression, fondé sur l'emploi du gaz ammoniac anhydre. Abandonnées par M. Carré, elles ont été reprises par de nombreux constructeurs et sont aujourd'hui les plus répandues dans l'industrie. En dehors des machines à acide carbonique, presque tous les types d'appareils frigorifiques imaginés depuis dix ans sont des appareils à gaz ammoniac. Après la machine de M. F. Carré, celle de Linde (1877) est la plus ancienne et peut-être la plus perfectionnée; ensuite sont venues les machines Fixary (1883-1885), Lebrun (1887-1888), etc.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Enfin, récemment, on n'a pas craint d'utiliser un agent plus énergique encore que l'ammoniaque, l'*acide carbonique*, qui donne au compresseur des tensions de 75 atmosphères et davantage, alors qu'il y a dix ans les pressions de 15 atmosphères développées dans les machines à ammoniaque étaient réputées dangereuses. Comparée aux appareils à ammoniaque et à acide sulfureux, la machine à acide carbonique de Windhausen, apparue en France lors de l'Exposition de 1889, présente des dimensions beaucoup plus restreintes pour un même effet frigorifique. La fabrication de l'acide carbonique est passée aujourd'hui à l'état d'opération industrielle, et l'emploi de ce gaz comme agent de production du froid paraît devoir se propager, spécialement à bord des navires.

Les *machines à affinité* ont pour base l'expérience bien connue de Faraday, la liquéfaction du gaz ammoniac dissous dans le chlorure d'argent. Elles sont ainsi nommées, parce que la production du vide et la volatilisation résultent de l'affinité seule. L'aspiration des vapeurs au compresseur y est remplacée par l'affinité du dissolvant froid et la compression par la tension que prend le gaz sous l'influence d'un chauffage énergique. Ici l'énergie calorifique du charbon s'utilise directement, sans l'intermédiaire d'aucun organe mécanique.

Théoriquement ces machines devraient fournir le rendement le plus élevé. En pratique, l'effet utile est limité par les réchauffements extérieurs, par les entraînements d'eau dans le condenseur et par la perte de chaleur que cause le refroidissement obligé du vase d'absorption.

Les appareils à affinité sont d'invention française; M. F. Carré est le premier qui, dès 1857, ait songé à l'application industrielle du principe dû à Faraday; il doit être considéré comme l'un des créateurs de l'industrie du froid dans notre pays, jusque-là tributaire des Anglais.

Perfectionnées en 1859 et 1860, les premières machines de M. Carré ont été le point de départ de toutes les machines du même genre

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

construites en France et à l'étranger. L'inventeur les a lui-même modifiées, en 1872 et 1876, dans certaines de leurs dispositions, et, à partir de ce moment, elles n'ont plus subi de modification véritablement essentielle.

c. *Appareils domestiques.* — Il est une catégorie d'appareils à froid maintenant très répandue, celle des appareils à faible production, à marche intermittente, ordinairement portatifs et n'exigeant pas l'intervention d'un moteur mécanique. Ces appareils servent à la fabrication de la glace, à la préparation des carafes frappées, des sorbets, etc., et sont employés chez les limonadiers, confiseurs, restaurateurs, dans les laboratoires de physique et de chimie, dans les hôpitaux, dans les pharmacies, etc. Les ménages recourent généralement, pour la fabrication de la glace, à de simples mélanges réfrigérants (appareil Toselli, glacière Delpy, etc.); on s'y préoccupe bien moins du prix de revient de la glace que du prix d'achat de l'appareil, de sa durée, des facilités de sa conduite. Quant à la petite industrie, elle emploie surtout des appareils intermittents à vide, dont l'appareil Carré à frapper les carafes offre le type le plus ancien et le plus usuel; elle se sert aussi d'appareils à affinité (Carré, Rouart, Imbert frères).

Les constructeurs ont été en outre amenés à établir des types de machines à faible production, mais continues, susceptibles d'une installation facile dans les ateliers, magasins, châteaux, fermes, laiteries, fromageries, etc., partout où l'emploi du froid et de la glace peut être nécessaire.

d. *Application du froid artificiel.* — La *glace* est entrée dans la consommation courante et constitue même, pour certains pays, un objet de première nécessité. Depuis longtemps on se préoccupe d'obtenir économiquement de la glace artificielle, plus pure et moins dangereuse que la glace naturelle, souvent ensemencée de gerbes morbides dont l'action n'est qu'engourdie. Grâce à l'économie réalisée dans la distillation de l'eau et à la grande simplicité du service des généra-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

teurs à glace, le problème de la fabrication industrielle de la glace se trouve aujourd'hui résolu de la façon la plus complète.

On a vu naître récemment des usines produisant jusqu'à 100,000 et même 150,000 kilogrammes de glace par vingt-quatre heures. En moyenne, le prix de revient de la tonne varie, suivant l'importance de l'établissement, entre 5 et 10 francs, et descend dans beaucoup de cas au-dessous de celui que comportent la récolte, le transport et la conservation de la glace naturelle.

Il y a vingt ans, la production de la glace était la plus importante, presque l'unique application du froid artificiel. D'autres applications nombreuses et fécondes sont apparues depuis : au premier rang se place le *refroidissement des locaux* affectés à la brasserie, à la chocolaterie, à la conservation des denrées alimentaires, etc.

Autrefois on opérait à peu près exclusivement par le contact de l'air avec un amas de glace. Ce procédé a disparu, sauf dans les régions du Nord, où la glace naturelle est abondante.

Parmi les systèmes nouveaux, l'un des plus simples et des moins coûteux consiste à employer des machines à air (Giffard, Hall, etc.), pour fournir directement l'air froid aux locaux qu'il s'agit de refroidir. Ce système présente de nombreux avantages sur les navires destinés au transport des viandes : en effet les machines à air ont le mérite de la simplicité, offrent toute sécurité, s'installent facilement et n'occupent qu'une place réduite.

Mais, pour les installations fixes à terre, le faible rendement des machines à air leur fait substituer des machines plus économiques au point de vue de la consommation de combustible. On emploie la machine à affinité ou à gaz liquéfiable. Un intermédiaire devient alors nécessaire pour la transmission du froid. Au début, l'intermédiaire préféré était un liquide incongelable refroidi par la machine et circulant au travers de serpentins dans la chambre à refroidir; M. Schmitz a réalisé une heureuse simplification, en lançant dans les serpentins le gaz détendu lui-même, c'est-à-dire en plaçant le congélateur dans le local qui doit être refroidi. Avec l'un et l'autre de ces procédés, le

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dépôt de givre sur les surfaces refroidissantes s'oppose à l'échange complet des températures; bien des moyens ont été proposés pour remédier à cet inconvénient, entre autres celui de Linde; néanmoins la difficulté du dégivrage a progressivement déterminé l'abandon du refroidissement des locaux par serpentins intérieurs, sauf dans les brasseries, chocolateries et autres établissements où la présence de l'humidité ne peut provoquer des fermentations nuisibles.

On soustrait les locaux à toute cause d'humidité en plaçant les serpentins au dehors, dans une chambre spéciale ou dans une simple caisse en bois ou en métal. L'air froid est envoyé de cette chambre ou de cette caisse dans les salles où il est nécessaire, puis revient, après s'être réchauffé et chargé d'humidité, pour être refroidi à nouveau et séché, et pour reprendre ensuite sa course : tels sont les procédés de M. Schrœder, de M. Fixary, etc.

Toutefois les frigorifères extérieurs présentent encore quelques inconvénients. D'ailleurs, en envisageant la question d'une manière générale et en tenant compte tant de la mauvaise conductibilité de l'air que de sa faible chaleur spécifique, on conçoit que la méthode par rayonnement au travers d'un serpentin métallique soit coûteuse et peu rapide. Aussi les constructeurs ont-ils cherché à supprimer les surfaces séparatives, et leurs études ont abouti à l'un des progrès les plus marquants de l'industrie du froid. MM. Mignon et Rouart indiquaient, dès 1875, un procédé rationnel de refroidissement de l'air par contact avec un liquide froid et divisé (chlorure de calcium); la même année, ils appliquaient avec succès leur système à la manufacture royale de bougies d'Amsterdam; en 1882, ils effectuaient à la Morgue une installation analogue. Depuis dix ans, des solutions nouvelles et variées sont intervenues, et le système, appliqué à Genève, à Liverpool, en Allemagne, a donné partout de bons résultats.

La *conservation des denrées alimentaires* et principalement des viandes par le froid, qui a pris une si grande extension en Amérique, en Australie et en Angleterre, est en France un sujet d'actualité.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ce procédé, bien supérieur à la salaison, au boucanage, à la dessiccation, à la cuisson, à l'enrobage, à l'injection de liquides préservatifs, à l'emploi du vide ou d'atmosphères artificielles, à l'immersion dans des mixtures, peut seul conserver aux viandes l'aspect, la qualité et la valeur commerciale qu'elles possèdent aussitôt après l'abatage.

On sait que l'altération des denrées alimentaires tient à un genre spécial de fermentation putride. La chaleur est la cause prépondérante de la décomposition : le développement et l'activité des ferments, très accusés à 30 degrés, sont au contraire suspendus aux environs de 0 degré. A côté de la chaleur, l'humidité est un auxiliaire puissant de la fermentation. Enfin l'air constitue le véhicule ordinaire des germes nuisibles. Il en résulte que la pureté, la siccité et l'abaissement de température de l'air sont des conditions indispensables à tout bon procédé de conservation. Seul l'emploi de l'air permet de réaliser simultanément ces trois conditions, sans préparation et sans addition de matières étrangères.

L'action préservatrice du froid a été reconnue de tout temps, et en Russie, de même que dans toutes les régions septentrionales, le commerce des poissons et viandes gelés donne lieu à un trafic considérable.

C'est pendant l'année 1870 que M. Tellier entreprit en France les premiers essais de conservation des viandes par le froid produit à l'aide de machines spéciales; il répéta ces expériences en 1873-1874 et appliqua d'ailleurs les mêmes principes dans ses tentatives pour le transport de viandes exotiques sur le navire *le Frigorifique*. L'insuccès de ces dernières tentatives jeta le discrédit sur la conservation des viandes par le froid et la France se désintéressa presque entièrement de la question jusqu'en 1888.

Tandis que nous restions ainsi dans le *statu quo*, le commerce des viandes frigorifiées se développait en Angleterre : durant la période de 1881 à 1889, l'importation des moutons congelés s'élevait, chez nos voisins, de 17,275 à 1,970,000 têtes; les avantages qu'en retiraient les classes pauvres et la réussite de nouveaux essais

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

poursuivis en France par MM. Mignon et Rouart attirèrent l'attention sur le procédé de la congélation. Des entrepôts frigorifiques s'élevèrent en grand nombre dans les centres de population de l'Angleterre, de la Belgique, de l'Amérique, en moindre proportion chez nous.

Aux États-Unis, la moindre ville possède un entrepôt frigorifique, et l'on peut se faire une idée de l'importance qu'a prise, notamment à Chicago, l'industrie du bœuf conservé par le froid (*dressed beef*), par le chiffre d'affaires de quelques grandes maisons : en 1888, le nombre des têtes de bétail abattues s'est élevé à 561,000 pour MM. Armour et C^ie^, à 484,000 pour MM. Swift et C^ie^, et à 220,000 pour la *Hammond dressed beef Company*.

La République Argentine et la Nouvelle-Zélande préparent aussi des viandes destinées à l'exportation : certaines usines congèlent de 1,000 à 1,600 moutons par jour.

Il est inutile d'insister sur les avantages des entrepôts frigorifiques pour les bouchers, surtout dans les villes où les marchés sont peu fréquents et où les viandes fraîchement abattues ne trouvent pas toujours des débouchés immédiats. Ces entrepôts permettent d'ailleurs de profiter des cours peu élevés pour faire des approvisionnements plus considérables.

La conservation des viandes par le froid peut être des plus utiles au ravitaillement des places fortes et des armées en campagne. Notre administration de la guerre a étudié avec le plus grand soin les ressources que ce procédé serait susceptible de lui fournir, le cas échéant.

Une question qui se rattache étroitement à la précédente est celle du *transport des viandes frigorifiées*.

L'idée de déverser sur les pays à population dense et à élevage restreint le trop-plein des contrées à vastes pâturages devait venir naturellement à l'esprit. D'autre part, il était non moins naturel de tenter la substitution du transport des viandes mortes à celui des animaux vivants : par cette substitution, l'importateur évitait les pertes de qua-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

lité et de poids des animaux pendant la traversée, écartait les dangers d'épizootie, diminuait les dépenses de gardiennage, réduisait les frais de transport, ne fût-ce qu'en supprimant le fourrage et les parties inutiles de l'animal.

C'est en 1873 que M. Eastman, de New-York, inaugura les transports de ce genre entre l'Amérique et l'Angleterre; pour refroidir les viandes en cours de route, cet industriel se bornait à les envelopper d'un courant d'air, préalablement ramené à la température de 0 degré par circulation sur des récipients remplis de glace. Bientôt l'importation annuelle atteignit 13,000 tonnes.

Le procédé Eastman, applicable à de courtes traversées, ne l'était point aux longs parcours sur des mers tropicales. Pour les transports au départ de l'Amérique du Sud, il fallut recourir à des machines frigorifiques pouvant donner régulièrement une température beaucoup plus basse. Un Français, M. Tellier, entreprit dans ces conditions, en 1876, le transport entre la France et Buenos-Ayres par le navire *le Frigorifique* (1876); cette expérience et celle du *Paraguay*, qui la suivit, ne furent pas très heureuses; elles mirent d'ailleurs en lumière les difficultés de toute nature que présentait à bord l'emploi des machines frigorifiques à liquides. Ces machines furent remplacées par les appareils à air, convenant mieux aux longs transports.

Eu égard à la durée des voyages et au refroidissement énergique qu'exigeait le passage des mers chaudes, la simple conservation des viandes au voisinage de 0 degré devenait dangereuse : car, au moindre arrêt de la machine, toute la cargaison risquait de se perdre. Il était nécessaire de produire des froids intenses et de congeler les viandes jusque dans leurs parties centrales. Bientôt les importateurs prirent le parti d'opérer la congélation au point de départ, afin de réduire la puissance des machines installées à bord.

Les viandes ainsi congelées arrivèrent en parfait état de conservation; après avoir été dégelées, elles restaient comparables aux viandes fraîches. Aussitôt l'importation prit son essor, et les premiers navires de la maison Bell-Coleman amenèrent en Angleterre, pendant la période de 1879 à 1884, 43,000 tonnes de viande.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Actuellement le transport des viandes, généralement congelées à terre, s'effectue par des navires spéciaux, dont la cale, véritable chambre frigorifique, contient ordinairement 250 à 500 tonnes de viande, quelquefois 900, exceptionnellement 1,400; les appareils sont le plus souvent des machines à air, et, pour certains navires d'installation récente, des machines à acide carbonique. La flotte ainsi aménagée est beaucoup plus puissante qu'on ne pourrait le supposer : on compte 130 navires appartenant à la maison Haslam et Bell-Coleman; la maison Hall en possède 85.

En Amérique et spécialement aux États-Unis, le commerce des viandes congelées a pris une telle importance que les industriels ont dû s'outiller d'un matériel de wagons spéciaux pour le transport des centres de préparation, comme Chicago et Saint-Louis, aux centres de consommation. La Compagnie *Merchant's Dispatch Transportation* s'est pourvue de 2,500 wagons courant sur le réseau des États-Unis et sur celui du Canada; la maison Armour et Cie en a 1,800, faisant le service de Chicago à New-York (1,400 kilomètres); on estime à 6,000 le nombre des wagons, type Wicke, utilisés aux États-Unis pour le transport des viandes, des volailles, du gibier, des produits de laiterie, des fruits.

Je citerai encore, comme exemple du transport par wagons frigorifiques, celui de la bière en Autriche, en Allemagne, en Belgique et dans l'est de la France.

Après la préparation de la glace et la conservation des viandes, l'industrie qui consomme le plus de froid artificiel est la *fabrication de la bière*. Les indications que j'ai déjà données à cet égard me dispensent d'y insister longuement ici.

Les machines à glace ont été remplacées par des machines à circulation d'eau glacée ou de liquide incongelable, que l'on applique au refroidissement des moûts, au maintien de ces liquides à une basse température pendant toute la durée de la fermentation principale et à la réfrigération des salles de garde. Grâce à ces machines, le brasseur peut fabriquer et conserver la bière en toute saison et sous tous

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les climats, moyennant une dépense de beaucoup inférieure à celle que nécessiterait l'emploi de la glace naturelle.

En dehors de ces industries où le froid joue un rôle essentiel, il en est d'autres où son intervention, sans avoir la même importance, influe cependant sur la méthode, l'allure et le rendement de la fabrication.

Les machines à froid rendent par exemple d'utiles services pour le refroidissement des moules à chocolat : M. Devinck a, le premier, employé à cet usage l'appareil Carré.

On recourt également au froid pour la conservation de la graisse qui doit fournir la margarine ou entrer dans la composition des bougies. La stéarinerie l'applique aussi à la cristallisation et au moulage des acides gras, à l'extraction de l'acide oléique et à la récupération des acides gras entraînés par ce dernier au sortir des presses, à la solidification de la paraffine contenue dans les pétroles.

M. Poetsch a imaginé, en 1883, un moyen de faciliter le fonçage des puits dans les terrains aquifères, en congelant ces terrains par la circulation d'un liquide froid.

Souvent la concentration par le froid est plus économique que la distillation, parce qu'il faut enlever moins de chaleur au liquide pour l'amener à son point de congélation qu'il ne faudrait lui en donner pour le faire bouillir. Dans les pays maritimes du Nord, on applique ce procédé à l'extraction du sel marin. Le froid artificiel a été utilisé pour la concentration de certaines eaux minérales, pour la congélation lente de certains vins qui perdent ainsi une partie de leur eau et acquièrent un degré alcoolique plus élevé, pour l'extraction du sucre contenu dans le jus de betterave et dans les mélasses.

Je mentionnerai encore la fabrication du sulfate de soude, celle de la dynamite, la trempe des plaques de blindage, la conservation des graines de vers à soie, le retard de la maturation des légumes ou de la floraison des plantes, la congélation des salles de patinage, la conservation des fourrures et tissus, etc.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Cette énumération sommaire suffit à montrer toute l'étendue du rôle réservé au nouvel élément de progrès industriel dont vient d'être dotée la civilisation contemporaine.

9. Huilerie. — Le matériel de fabrication des huiles végétales comprend divers appareils, tels que pilons de bocard, concasseurs à cylindres, moulins à meules verticales, pour écraser les graines; chaudières à feu nu ou à la vapeur, pour chauffer la matière pâteuse livrée par les meules; presses à vis, presses à coins, presses hydrauliques, pour exprimer l'huile; bacs avec agitateurs, pour épurer les huiles par l'acide sulfurique, suivant la méthode imaginée par Thénard, en 1801; filtres; etc.

Seules, les presses figuraient en assez grand nombre à l'Exposition de 1889.

L'industrie des huiles de graines emploie surtout des presses hydrauliques. On a pu constater des progrès dans leur construction et dans les dispositions de leur mécanisme; elles fournissent des pressions bien plus considérables qu'autrefois, sans que leur poids se soit sensiblement accru.

Pour les huiles d'olive, les presses les plus usitées appartiennent encore à des systèmes primitifs; leurs organes sont en bois; elles agissent à l'aide d'une vis actionnée directement ou par un levier. Ces engins d'un autre temps seront sans doute remplacés prochainement par les appareils dont les modèles figuraient, en 1889, dans les galeries du Champ de Mars (presses à vis et leviers différentiels; presses à vis et leviers articulés; presses hydrauliques).

10. Eaux gazeuses à acide carbonique. — Les boissons gazeuses sont formées d'eau, parfois de liquides alcooliques sucrés ou aromatisés, dans lesquels se trouve dissous un volume de gaz proportionnel à la pression exercée sur le fluide : ce gaz est, en général, de l'acide carbonique.

Dans les eaux minérales naturelles, le gaz carbonique a été dissous souterrainement : on peut citer comme prototype des eaux de ce

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

genre l'eau de Seltz, qui doit son nom au village de Nieder-Selters (ancien duché de Nassau).

L'idée de produire artificiellement des eaux gazeuses paraît avoir pris naissance au XVII^e^ siècle, dans les laboratoires de pharmacie : dès 1685, Charles II, roi d'Angleterre, accordait une patente pour la fabrication d'eaux minérales ferrugineuses et gazeuses. Toutefois cette idée ne se formula nettement qu'en 1766, époque à laquelle Bergmann donnait le premier procédé scientifique permettant d'imiter les eaux naturelles de Selters, de Spa, de Pyrmont.

Depuis, un grand nombre d'inventions se sont succédé, principalement en France et en Angleterre, dans le but soit de rendre la gazéification facile pour les consommateurs eux-mêmes, soit d'en faire une opération industrielle.

En 1750, Venel, de Montpellier, indiqua ou perfectionna la préparation des eaux gazeuses au moyen de poudres effervescentes (bicarbonate de soude et acide tartrique). Ce procédé a l'inconvénient de laisser dans la boisson un sel purgatif (tartrate de soude). Aussi a-t-on cherché à faire des eaux gazeuses exemptes des produits générateurs de l'acide carbonique. Tel fut le but de l'appareil portatif à vases superposés, qu'imagina Nootl en 1775, et de l'appareil à vases communiquants, dont l'idée première appartient à Robinet et que Briet établit dans des conditions excellentes en 1840. Ce dernier appareil très connu et d'un usage encore très général comprend deux vases accolés et communiquants : la dissolution des poudres s'opère dans le plus petit; le gaz qui s'en dégage est refoulé par sa propre pression dans le vase contigu et se tamise à travers des cribles avant d'arriver à l'eau qu'il doit saturer. Des perfectionnements ultérieurs ont assuré une épuration plus complète du gaz et abaissé le prix de l'instrument.

Plus ou moins satisfaisants pour les laboratoires ou les ménages, ces appareils ne peuvent servir pour une production industrielle. La fabrication en grand des eaux gazeuses a été créée par un pharmacien français, Gasse, établi à Genève vers la fin du XVIII^e^ siècle. C'est à cet inventeur qu'on doit l'appareil dit *de Genève;* le gaz était fourni

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

par la réaction de l'acide sulfurique sur la craie dans un générateur spécial, puis lavé dans des tonneaux remplis d'eau et envoyé à un gazomètre, d'où une pompe le refoulait dans l'eau à saturer. Gasse arriva ainsi à expédier annuellement 40,000 bouteilles d'eaux minérales artificielles. En 1798, Paul, son associé, vint à Paris et y installa d'abord un appareil à l'hôtel d'Uzès; il fonda ensuite l'établissement de Tivoli.

Le système de Genève avait l'inconvénient d'être intermittent. Bramah, ingénieur anglais, inventa la fabrication continue; il remplaça la pompe à gaz de Gasse par une pompe avec robinet à double ouverture, alimentant le récipient saturateur d'eau et de gaz dans la proportion voulue (1817). Trois ans après, MM. Planche, Boullay et Boudet faisaient venir de Londres un appareil Bramah et fondaient l'établissement du Gros-Caillou.

Au début, les eaux gazeuses n'avaient été préparées que sur ordonnance du médecin et d'après les formules du *Codex;* l'acide carbonique y était considéré comme accessoire. Plus tard, on fit des boissons gazeuses sucrées et aromatisées, sous le nom de *limonades;* mais ces boissons restaient dans le monopole des préparations pharmaceutiques. Quand il eut été reconnu que les eaux de Seltz devaient leurs qualités agréables et la plus grande partie de leurs vertus hygiéniques à la présence de l'acide carbonique, les boissons gazeuses artificielles purent se débarrasser de leurs éléments hétérogènes et pharmaceutiques, et pénétrèrent dans la consommation courante des classes aisées. La grande épidémie de choléra, survenue en 1832, développa beaucoup cette consommation, notamment à Paris; la fabrication devint libre, et l'industrie apporta de nouveaux perfectionnements aux appareils de Paul et de Bramah. Ozouf transforma le système de Bramah et donna à l'outillage les dispositions principales qu'il présente aujourd'hui.

A l'époque actuelle, la production des eaux gazeuses a pris un tel essor que les appareils servant à cette industrie constituent une branche importante de la mécanique industrielle.

Il y a longtemps qu'on se préoccupe d'employer à la fabrication

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des eaux gazeuses l'acide carbonique produit par la combustion du coke ou de la houille. Des considérations de dépense avaient empêché jusqu'ici les essais d'aboutir à un résultat pratique. Mais on est parvenu récemment à vaincre la difficulté et à préparer ainsi du gaz carbonique très pur et peu coûteux. Ce gaz est rendu facilement transportable par la compression dans des tubes d'acier, où on l'emmagasine à l'état liquide sous une pression de 36 à 40 atmosphères; rien de plus simple, dès lors, que de saturer les liquides dans les vases mêmes qui doivent être livrés à la consommation. Un appareil destiné à ce dernier usage était exposé en 1889.

11. Chocolaterie. — Le chocolat est un mélange intime de cacao et de sucre, aromatisé par la vanille, la cannelle et divers autres aromates.

D'origine mexicaine, la fabrication de ce produit s'est d'abord implantée en Espagne, puis a fait son apparition en France au milieu du XVII^e^ siècle. Ses qualités nutritives, son agréable saveur et la douceur de son arome lui valurent immédiatement un succès mérité.

A cette époque, on se servait exclusivement de pilons et de rouleaux à bras pour effectuer le broyage, c'est-à-dire l'opération essentielle qui assure l'union parfaite du sucre et du cacao, et qui en prépare l'assimilation facile par l'organisme. Obtenu par ce procédé, le chocolat était d'un prix fort élevé et ne pouvait entrer dans la consommation du grand public. L'usage ne pouvait s'en répandre qu'avec la substitution du travail mécanique au travail de l'homme.

La France s'est placée incontestablement au premier rang de la chocolaterie, par les progrès industriels qu'elle a su réaliser, comme par l'importance de sa fabrication et le mérite de ses produits. Il y a plus de quatre-vingts ans que nos fabricants ont transformé leur mode de travail et introduit les machines dans leurs ateliers; depuis, sous la pression d'exigences sans cesse croissantes et d'une concurrence toujours plus ardente, les perfectionnements se sont multipliés au point que, dès l'Exposition universelle de 1855, il était permis de se demander quelle voie restait ouverte aux améliorations. Déjà, grâce à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Devinck, à Hermann, etc., des machines élégantes et bien conçues fabriquaient le chocolat en une seule opération, avec une régularité irréprochable, sans que jamais la main d'homme fût en contact avec le produit.

Une usine bien montée comprenait, indépendamment du moteur, un cylindre cribleur et à poussière, pour nettoyer les fèves de cacao; un torréfacteur, pour les rôtir; un concasseur, pour les décortiquer; un tarare, pour séparer de l'écorce la partie charnue de l'amande; une broyeuse de cacao pur; une mélangeuse, pour mêler le sucre au cacao broyé et encore à l'état de crème; un appareil spécial, pour broyer le mélange précédent; une étuve, pour réchauffer la pâte avant de la mouler; une machine à peser la pâte, avant de la mettre en tablettes; un cave à rafraîchir; une machine à envelopper les tablettes de papier d'étain et de papier ordinaire.

Depuis 1855, l'outillage n'a guère subi que des modifications de détail, modifications ingénieuses sans doute, mais ne réalisant aucune transformation radicale. Dans un autre chapitre, j'ai mentionné, à propos des applications du froid artificiel, le procédé de refroidissement des tablettes moulées : ce procédé, que MM. Lombart et Billaudot ont imaginé en 1878, s'est répandu en peu de temps et a été adopté par la plupart des grandes fabriques.

La fabrication de la poudre de cacao, c'est-à-dire du cacao privé d'une partie de son beurre, s'est considérablement accrue durant ces dernières années.

12. Confiserie. — Malgré ses anciennes origines, la confiserie est restée longtemps dans le domaine de la petite industrie. L'emploi plus général de la vapeur et des appareils mécaniques tend à lui donner aujourd'hui un caractère différent.

Les progrès ont été surtout réalisés dans la fabrication des dragées, qui du reste constitue l'une des branches les plus importantes de la confiserie. Jadis les dragées se préparaient au moyen de bassines, dites *branlantes*, mues à bras d'homme et chauffées par une *terrasse* (brasier de charbons à demi éteints et recouverts d'un peu de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cendres). Ces bassines sont remplacées par des appareils spéciaux, chauffés à la vapeur et animés d'un mouvement automatique de rotation ou d'oscillation : il y a là un perfectionnement considérable, dû à J. Peysson (1847).

C'est également par des moyens mécaniques, par une sorte de laminage, que s'obtiennent les sucres cuits sous forme de drops, de tablettes, de boules, de bâtons. Les appareils servant à ce travail nous sont venus d'Angleterre.

Quant aux pâtes et pastilles à la gomme, aux nougats, aux pralines, aux fondants, aux fruits confits, ils se font en majeure partie à la main : les machines suppléeraient difficilement au bon goût et au talent de l'ouvrier. Cependant je dois signaler la machine à pilules et les machines à pastilles exposées en 1889.

13. Préparation mécanique des aliments. — Dans la préparation des aliments, les anciens procédés rudimentaires ont fait une large place aux procédés mécaniques.

Le charcutier, par exemple, débitait autrefois les viandes à l'aide du billot de bois et du couteau, puis les divisait au hachoir à main. Ce système pénible, lent, coûteux, bruyant, s'est complètement transformé. Dès 1844, M. Mareschal a inventé un hachoir mécanique, qui reste le type du genre. Les hachoirs automatiques ont reçu divers perfectionnements et servent aussi à la préparation des herbes cuites, au hachage des amandes employées par la confiserie, au travail des savons colorés.

Je mentionnerai encore les ingénieuses machines à tailler la soupe, à peler les légumes et les fruits, à écosser les pois verts, etc.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE IV.

MATÉRIEL DES ARTS CHIMIQUES, DE LA PHARMACIE ET DE LA TANNERIE.

1. Produits réfractaires. — Les produits réfractaires sont des objets de première nécessité pour les établissements dont les opérations s'effectuent à une température très élevée. Ils servent, sous les formes les plus diverses, soit comme matériaux de construction des fours qui doivent résister à l'action d'un feu vif et de longue durée, soit comme récipients des substances à mettre en fusion. Leur qualité primordiale est de ne point se ramollir sous l'influence de la chaleur; mais, en outre, il leur faut souvent pouvoir subir sans rupture, sans fêlure, sans altération, les brusques changements de température, ou bien encore être inattaquables par les matières en fusion. Généralement l'infusibilité ne résulte que de la nature même des substances dont se compose le produit réfractaire. Quant à la résistance, soit aux variations de température, soit aux effets corrosifs, elle dépend beaucoup de la texture des pâtes : les produits réfractaires supportent d'autant mieux les écarts de chaleur que leur porosité et leur élasticité sont plus grandes; au contraire, la densité et la compacité contribuent largement à les protéger contre la corrosion.

Parmi les matières réfractaires, la première place appartient aux argiles qui ne renferment point de carbonate de chaux et qui sont également exemptes d'oxyde de fer ou n'en contiennent du moins qu'une minime proportion. Ces argiles, dans la composition desquelles entre exclusivement du sable quartzeux, sont assez rares dans la nature. Elles restent infusibles aux plus hautes températures de nos fourneaux; toutefois leur dureté demeure plus ou moins intacte,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

suivant le rapport des quantités de silice et d'alumine dans les silicates constitutifs ou plutôt dans les composés qui se forment au feu. Le sable exerce sur les qualités des argiles une très grande influence : en grains fins, il peut assez facilement se combiner aux éléments de l'argile et donner, selon la proportion, des produits absolument réfractaires ou ramollissables; en gros grains, il n'agit que très lentement et son rôle est réduit à celui de matière dégraissante ou de ciment.

Les argiles se mélangent, non seulement aux sables quartzeux, mais aussi à d'autres matières telles que le graphite, la poudre de coke, etc. Il existe d'ailleurs, en dehors des argiles, d'excellents matériaux réfractaires : nous en verrons plus loin des exemples.

Autrefois la distillation de la houille s'opérait uniquement dans des *cornues* en fonte. L'idée de faire des cornues à gaz en terre cuite paraît être née vers 1830 : en effet un sieur Spinney, de Cheltenham (Glocester), prit une patente, pour cet objet, le 13 novembre 1832. Mais, comme le rappelle M. Bardy, rapporteur du jury de la classe 51, la fabrication ne remonte effectivement qu'à 1839; elle est due à un potier de la verrerie de Sèvres, nommé Béna.

Les cornues à gaz subissant des variations notables de température pendant le chargement et le déchargement, il était indispensable d'avoir une terre réfractaire assez élastique pour résister aux effets de contraction et de dilatation : on y est parvenu en éliminant la partie fine des matières maigres qui entrent dans la composition de la pâte.

Pendant plus de quarante ans, les cornues à gaz ont été façonnées à la main et par parties soudées les unes aux autres : ce mode de travail exposait à des défauts d'homogénéité, à des vices de soudure, à des imperfections de dressage des surfaces intérieures. Un premier progrès a été celui qui consistait à faire le corps d'un seul morceau, au moyen d'une presse, puis à y souder le fond et à former la tête. Les dangers de rupture étaient considérablement atténués, mais non entièrement supprimés. Il fallait arriver au moulage complet

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'une seule pièce : on y a réussi; l'Exposition de 1889 montrait une solution très heureuse et très ingénieuse de ce problème.

Jusqu'en 1869, la France était tributaire de la Grande-Bretagne pour les matériaux éminemment réfractaires capables de résister à la haute température de fusion des aciers. Émile Muller l'a émancipée, par la fabrication des briques en silice.

Vers la même époque, Muller parvenait à faire des briques de magnésie, les proposait aux métallurgistes et émettait l'idée qu'elles pourraient produire la déphosphoration. On sait les magnifiques résultats obtenus depuis par cet emploi de la magnésie.

M. Audoin avait préconisé, dès 1876, l'utilisation du fer chromé pour les revêtements des fours et des appareils métallurgiques. Ce métal est entré dans la pratique, grâce à MM. Valton et Remaury. Il résiste aux plus hautes températures, à l'action de la silice libre, à celle des silicates, de la chaux, de la magnésie, des scories basiques riches en oxydes métalliques ou terreux.

Les fours à étages superposés de M. Michel Perret ont opéré une véritable révolution dans le grillage des pyrites en poussière. En présence de ce succès, l'inventeur s'est préoccupé d'établir, d'après le même principe, des foyers étagés propres à brûler les combustibles pulvérulents. Après de longues et patientes recherches, dont l'origine remonte à 1874, il a réussi au delà de toute espérance; l'une des innovations de ses derniers appareils consiste dans le remplacement des dalles pleines par des dalles perforées. Les nouveaux foyers à étages multiples conviennent non seulement à la houille, mais encore au lignite, à l'anthracite, à la tourbe; ils donnent une combustion parfaite, fonctionnent avec une régularité irréprochable, permettent de réaliser des économies notables, assurent l'utilisation de déchets jusqu'alors peu ou point utilisés. Aussi se sont-ils promptement répandus : on les a notamment appliqués au séchage des engrais chimiques par l'action directe des gaz de la combustion, ainsi qu'au chauffage des habitations, des ateliers, des édifices publics. Le ré-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sultat est si merveilleux que M. Bardy se demande si un jour ne viendra pas où l'on pulvérisera tous les combustibles, riches ou pauvres, afin d'en brûler complètement le carbone.

Pour les fours destinés au grillage des pyrites, comme pour ceux qui servent à la production de chaleur au moyen de combustibles pulvérulents, les pièces réfractaires doivent réunir des qualités multiples, et leur exécution présente de sérieuses difficultés. L'industrie céramique a su vaincre ces difficultés.

2. Matériel de la tannerie, de la mégisserie et de la corroirie [1]. — Dans un chapitre antérieur, spécialement consacré aux cuirs et peaux, j'ai rappelé les opérations principales que comportent le tannage et le travail des cuirs.

Sauf en ce qui concerne la préparation du tan, les manipulations se faisaient encore presque complètement à la main, lors de la première Exposition universelle (Londres, 1851), et il faut aller jusqu'à l'Exposition de 1867, pour trouver un outillage mécanique quelque peu développé dans la section française et dans la section anglaise.

En 1878, la transformation était profonde; le travail mécanique avait largement pris la place du travail manuel; l'emploi de la vapeur, comme force motrice, se généralisait de plus en plus; il en résultait un accroissement considérable de la puissance productive et une réduction notable des prix de revient. A cette source d'économie s'ajoutait l'utilisation des déchets de fabrication et spécialement de la tannée, qui, par des manipulations convenables, fournissait aux appareils un combustible d'excellente qualité.

Le progrès s'est encore accentué pendant la dernière période décennale, bien que l'Exposition de 1889 n'ait pas révélé d'invention hors ligne.

En général, les écorces destinées à produire le tanin sont hachées

[1] Voir *supra*, page 269, le chapitre consacré aux cuirs et peaux.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

avant d'aller au moulin. On se sert, dans ce but, de *hachoirs à écorces*, dont les organes essentiels consistent en cylindres cannelés et tambours à lames d'acier tranchantes.

Au sortir des hachoirs, les écossons subissent un nouveau déchiquetage qui les réduit à l'état de fragmentation pulvérulente. Cette opération s'effectue souvent dans des *moulins* à noix. On a imaginé aussi des *broyeurs* et des *triturateurs*, fondés notamment sur l'action de lames tranchantes.

Les bois de teinture sont triturés par des machines analogues, répandues aujourd'hui dans le monde entier.

Un appareil justement apprécié, qui a fait sa première apparition à l'Exposition de 1867, est la *presse à sécher la tannée*. La tannée (ou tan épuisé) ne trouvait autrefois son utilisation que dans la confection des mottes; c'était un débouché insuffisant. Du jour où l'outillage mécanique a remplacé le travail manuel dans les tanneries, l'idée est venue d'employer le tan épuisé comme combustible pour produire la vapeur nécessaire aux machines motrices; mais il fallait trouver un moyen pratique d'extraire le liquide qui sature cette matière : M. Bréval résolut le problème au moyen de cylindres, et son appareil permit de dessécher facilement la tannée. L'inventeur créait en même temps des appareils propres à brûler le nouveau combustible. Grâce à M. Bréval, une tannerie moyenne peut, au prix d'une dépense première de 5,000 francs, réaliser une économie annuelle de 4,000 francs.

L'Exposition de 1878 montrait une bonne machine pour le *moulage* et la pression mécanique des mottes de tannée.

Parmi les machines qui concourent au tannage des cuirs, se rangent les *machines à ébourrer*, agissant par des cylindres garnis de lames hélicoïdales en acier; les *machines à écharner*, formées de cylindres semblables ou d'une table mobile sous un bâti portant des lames fixes; les *pelains* et *agitateurs automatiques;* les *tonneaux à fouler* rotatifs, dont la paroi intérieure est garnie de chevilles et de palettes, saisissant les peaux, les soulevant, les retournant, de manière à en assurer le complet nettoyage.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La corroirie met en œuvre les *machines à battre,* sorte de marteaux à vapeur, et les *machines à cylindrer;* les *foulons,* identiques aux tonneaux à fouler en tannerie, et les foulons cylindriques dits *hérissons,* composés soit de deux cylindres semblables en bois armés de chevilles disposées en pas hélicoïdaux à droite et à gauche, soit d'un cylindre supérieur armé de chevilles et d'un cylindre inférieur présentant des cavités correspondantes ou augets; les *machines à refendre,* faites d'abord à lames fixes, puis à lames circulaires et sans fin marchant avec une grande vitesse; les *machines à rebrousser,* ou marguerites mécaniques; les *machines à butter,* faisant mouvoir automatiquement l'étire; les *machines à mettre au vent,* formées par exemple de cylindres en cuivre avec hélices doubles du même métal, ou d'une courroie sans fin armée d'outils travaillant sur une table à mouvements universels; etc.

Pour la maroquinerie, il y a lieu de mentionner spécialement des *presses à essorer* et des *machines à écharner.*

Le matériel de la mégisserie est représenté par les *foulons* (maillets en bois frappant la peau contre une aire courbe), les *turbulents* (caisses cubiques rotatives, munies intérieurement de planchettes), les *machines à doler* (meules en bois émerisées, avec ventilateurs pour l'expulsion des résidus; meules en pierre ponce; couteaux animés d'une rotation rapide); les *machines à palissonner et ouvrir,* qui tirent et allongent les peaux en les saisissant dans les mâchoires d'un jeu de tenailles; etc.

M. Bardy signale un procédé avantageux, inventé par MM. Van Houke et C^ie^, pour la teinture en noir des peaux de lapin. La caractéristique de cette méthode est de supprimer le tannage préalable : outre une économie sérieuse, elle a le mérite d'éviter le versement dans les rivières des vieux bains de tannage et des bains de teinture épuisés.

Les déchets provenant de l'écharnage des peaux servent fréquemment à fabriquer de la colle forte. Il existe des *machines à laver les rognures,* des *presses à essorer les rognures lavées,* des *chaudières à cuire les rognures,* des *machines à marquer la colle.*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Citons encore, comme ayant été particulièrement remarquées par le jury, deux *machines à faire les ballots de cuir.*

Le nom de M. Bérendorf mérite d'être retenu, pour la très large part que cet industriel a prise à la constitution de l'outillage mécanique. Il en est de même de celui de M. Tourin, dont le père a consacré toute son existence à la recherche et à la création de machines pour la fabrication des cuirs.

3. Matériel de l'industrie chimique[1]. — Une revue, même sommaire, du matériel de l'industrie chimique exigerait des volumes et sortirait, si restreinte qu'elle fût, des limites nécessairement assignées au rapport général. J'ai eu soin, d'ailleurs, de mentionner, dans le chapitre relatif aux produits chimiques et pharmaceutiques (page 180), les principaux appareils employés à la préparation industrielle de ces produits. Il me sera donc permis de n'insister ici que sur les faits capitaux se rattachant à la dernière Exposition et plus spécialement à la classe 51.

La place d'honneur doit appartenir à M. de Chardonnet, pour son procédé de fabrication de la *soie artificielle.* Ce n'est pas d'aujourd'hui que date l'idée de cette fabrication. Mais M. de Chardonnet a le premier résolu le problème : dès 1884, il déposait à l'Académie un pli cacheté, qui fut ouvert en 1887 et qui indiquait les premiers résultats d'essais poursuivis depuis un an.

En l'état actuel, la matière produite par l'inventeur n'est autre chose que du collodion filé, auquel la dessiccation enlève son éther et son alcool, et qui subit une dénitration totale ou partielle, de manière à perdre ses propriétés explosives et à devenir moins combustible. M. de Chardonnet avait essayé d'abord des substances colloïdes animales analogues à la soie par le groupement moléculaire; mais l'insuccès de ces premières tentatives l'a reporté vers les celluloses; ce sont la cellulose-coton et la pâte sulfureuse de bois qui lui ont donné les meilleurs résultats. Pour en opérer la dissolution, sans l'al-

[1] Voir *supra*, page 180, le chapitre consacré aux produits chimiques.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

térer et en lui laissant sa cohésion, il la transforme en cellulose octonitrique : cette opération exige des soins particuliers qu'indique M. Bardy. La pyroxyline ainsi obtenue est ensuite dissoute dans de l'éther et de l'alcool, pour former du collodion, qui, après avoir été filtré, va à la machine à filer. Cette machine se compose d'un récipient auquel s'adapte une rampe armée de becs capillaires : le collodion, soumis dans le récipient à une pression comprise entre 8 et 15 atmosphères, s'échappe par les orifices capillaires, se solidifie au contact d'un filet d'eau et constitue dès lors un fil recueilli par une bobine ; l'eau peut être avantageusement remplacée par l'alcool. Les fils élémentaires sont réunis par groupe de quatre à huit avant d'arriver à la bobine.

On recueille les vapeurs du dissolvant, qui se dégagent pendant le séchage des fils, et on les condense dans des barboteurs contenant le premier du carbonate de potasse et les autres de l'acide sulfurique.

Le pyroxyle transformé en trame ou en organsin doit être dénitré. Cette modification se réalise au moyen de substances réductrices, ayant de l'affinité pour l'acide nitrique.

Telle que M. de Chardonnet la produit aujourd'hui, la soie artificielle se rapproche de la soie naturelle cuite, par la finesse des fibres, l'élasticité, la souplesse, l'éclat, l'aptitude à la teinture. Sa ténacité est évaluée aux deux tiers de celle des belles soies naturelles. Le prix de revient peut être estimé entre 12 et 20 francs le kilogramme, pour des trames moulinées et teintes.

La fabrication de la soude par le procédé Solvay ou les procédés similaires donne lieu à une consommation importante d'*ammoniaque*. Il a fallu puiser ce produit à toutes les sources, et utiliser notamment les eaux ammoniacales faibles provenant soit des fours à coke, soit des usines à gaz. Mais ces eaux devaient être avant tout concentrées.

Naguère les appareils de concentration en usage se composaient de plateaux ou compartiments superposés et affectaient la forme des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

colonnes distillatoires employées pour la concentration de l'alcool. Ils offraient l'inconvénient de ne se prêter ni au chauffage direct à feu nu, ni au chauffage indirect à la vapeur, de nécessiter l'élévation des liquides à une certaine hauteur et d'avoir des organes difficiles à surveiller.

M. Solvay a imaginé un appareil horizontal chauffé à feu nu et fondé sur le principe de l'entraînement mécanique des liquides par les gaz ou les vapeurs en mouvement dans un tuyau. Cet appareil comprend, outre l'instrument distillatoire, un caustificateur où, sous la seule action de la chaleur, l'ammoniaque se dégage de ses combinaisons avec l'acide carbonique et l'acide sulfhydrique; un condenseur, à récupération méthodique de chaleur; un laveur des gaz inertes; un régulateur d'alimentation. Quand les eaux ammoniacales contiennent des sels fixes, dont la chaleur seule ne pourrait dissocier les éléments, un appareil spécial permet d'opérer la décomposition, soit par la chaux, soit plutôt par le carbonate de soude, qui évite les encroûtements et permet de récupérer plus complètement l'ammoniaque.

Les eaux mères des salins, traitées par les procédés classiques de Balard, donnent comme résidu du chlorure de magnésium. Ce sel est utilisé à Salindres pour la production de l'*acide chlorhydrique* et du *chlore*, suivant une ingénieuse méthode due à MM. Weldon et Péchiney. Les différentes phases de l'opération sont : 1° la préparation du chlorure de magnésium; 2° celle de l'oxychlorure de magnésium; 3° le concassage, le broyage et le tamisage de l'oxychlorure; 4° sa dessiccation; 5° sa décomposition.

C'est surtout la dernière phase qui présente de l'intérêt, au point de vue du matériel. Elle s'accomplit dans des piles de décomposeurs verticaux que l'on porte successivement à la température voulue au moyen d'un brûleur à gaz et où l'on introduit ensuite l'oxychlorure à décomposer : la chaleur emmagasinée dans l'appareil suffit à opérer la décomposition. Primitivement le brûleur était mobile; dans le modèle figurant à l'Exposition, les inventeurs avaient au contraire assi-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

gné au brûleur une position invariable et monté les fours sur une plaque tournante, de telle sorte qu'ils pussent se présenter l'un après l'autre devant le brûleur.

Les gaz sont aspirés par des cloches en plomb qui plongent dans un bain de chlorure de calcium. Ils traversent une tour de lavage, des bonbonnes et un réfrigérant à tubes de verre, et s'y dépouillent de leur acide chlorhydrique ; le chlore, ainsi isolé, va dans des appareils d'absorption, qui le livrent à l'état de chlorate de magnésie ou d'hypochlorite de chaux. Quant à la magnésie extraite du four, elle peut, pour la plus large part, être vendue directement : elle ne contient, en effet, qu'une minime proportion de chlore.

Un des inconvénients que présentent les colonnes distillatoires est de s'obstruer rapidement, quand on y traite des liquides tenant en suspension des matières solides ou donnant lieu à des précipités. En pareil cas, on n'avait guère jusqu'ici d'autre ressource que d'opérer dans une chaudière, c'est-à-dire d'employer un appareil plus encombrant, plus coûteux, exigeant plus de combustible et de main-d'œuvre, et produisant une distillation moins parfaite.

MM. Mallet et Pagniez ont créé, pour le traitement des eaux ammoniacales en présence de la chaux, des *colonnes distillatoires inobstruables*, dans lesquelles la masse est continuellement agitée par des moyens mécaniques et où tous les passages, même ceux des gaz, sont sans cesse explorés par des racloirs. Ils ont complété leur installation en y ajoutant une *pompe à piston inobstruable*, dont la caractéristique consiste surtout dans le renversement des boîtes à clapet : ce type de pompe paraît susceptible de remplacer avec avantage les pompes centrifuges, dont le rendement mécanique est moindre, qui n'ont qu'une puissance d'élévation limitée en hauteur, et auxquelles on reproche de mal se prêter aux variations des faibles débits et de se détériorer promptement sous l'action des corps étrangers charriés par les liquides.

Le rapporteur du jury de la classe 51 mentionne encore d'autres

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

appareils, tels que des alambics de platine pour chimistes ; de grands appareils destinés à la concentration de l'acide sulfurique ; un *aéro-condenseur,* destiné à l'utilisation de la chaleur perdue des machines à condensation ; des *presses à levier différentiel,* permettant une pression très énergique sans exiger un trop grand effort sur le levier ; des *hydro-extracteurs ;* etc.

Il insiste aussi assez longuement sur une méthode pratique et industrielle pour l'extraction de l'*oxygène* contenu dans l'air atmosphérique, à l'aide de la baryte. Boussingault avait, depuis longtemps, posé les bases de cette méthode, qui consiste à transformer la baryte ou bioxyde de baryum, puis à décomposer ce bioxyde, avec régénération de la baryte. Mais le prix de revient était très élevé, parce que la baryte perdait, au bout de peu de temps, la propriété de se peroxyder. MM. Brin sont parvenus à produire la baryte en un état qui lui permet de rester longtemps en service ; ils ont en outre réussi à opérer l'oxydation et la réduction, sans changement de température, à supprimer ainsi des dilatations et des contractions essentiellement nuisibles aux cornues et aux fourneaux, à économiser du temps et du combustible, et à rendre la manœuvre automatique. La désoxydation s'effectue dans le vide. On trouvera au rapport de la classe des indications détaillées sur les appareils, qui se composent de cornues en acier, de fours, de foyers Siemens, de pompes, d'épurateurs à chaux ou à soude pour purger l'air de son eau et de son acide carbonique, d'organes destinés au changement de marche automatique, etc. L'oxygène peut être comprimé et emmagasiné dans des cylindres en acier forgé, capables de résister à une pression de 120 atmosphères. Parmi les applications nouvelles de l'oxygène, M. Bardy cite l'emploi de ce gaz, concurremment avec la chaux ou l'oxyde de fer, pour l'épuration du gaz de houille, et son utilisation pour la soudure des métaux ou la fusion de certains minerais. Il sert aussi à la fusion du platine, à la production de la lumière oxhydrique, au soufflage du verre, à la fabrication du vinaigre, à la cuisson et à l'épaississage des huiles, au blanchiment, à l'amélioration des eaux-de-vie. La médecine en fait également usage.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

4. Matériel de la savonnerie et de l'industrie stéarique[1]. — Le matériel de la *savonnerie* est assez simple et se prête peu aux innovations. Aussi ne le voit-on point figurer aux expositions.

A Marseille, la préparation des lessives de soude pour savons durs se fait à froid, dans de vastes et solides bassins en granite ou en tôle de fer, nommés *barquieux* et disposés pour une lixiviation méthodique; ces bassins ont un double fond constitué par des lames de fer croisées et sont munis d'un tuyau d'écoulement; des citernes ou réservoirs recueillent les lessives après leur formation. Les fabriques de l'intérieur préparent leurs lessives de soude ou de potasse en opérant à chaud. Elles se servent tantôt de chaudières en fonte ou de cuves en tôle chauffées par un foyer, tantôt de cuves chauffées au moyen d'un serpentin de vapeur, soit à retour d'eau, soit barbotant; les lessives se conservent dans des bassins en tôle, placés sur chantier au-dessus du sol de l'atelier. La préparation des lessives de potasse est spécialement faite pour les savons mous.

Les chaudières de saponification sont de diverses sortes. A Marseille, il était autrefois de tradition d'employer des chaudières en maçonnerie, dont la forme se rapprochait de celle d'un cylindre légèrement évasé par le haut; leur fond était en fer battu ou en cuivre; un robinet inférieur d'*épinage* assurait l'écoulement des lessives usées. L'usage de la maçonnerie semblait favorable à la blancheur du savon, que l'on prétendait se colorer plus ou moins dans les chaudières en métal; il offrait d'ailleurs l'avantage de conserver longtemps après la chauffe une certaine élévation de température, qui maintient la pâte dans un état de fluidité suffisante pendant l'épuration, facilite ainsi la séparation du *gras* dans la fabrication du savon blanc liquidé et convient pour le même motif à la levée des cuites de marbrés. Bien que les chaudières en maçonnerie puissent être chauffées à feu nu, il est préférable de recourir à la vapeur, ce qui évite les coups de feu et permet de chauffer plusieurs chaudières à l'aide d'un seul foyer; la vapeur circule ordinairement, sous une pression de 3 ou 4 atmo-

[1] Voir *supra*, pages 204 et 207, *Savons et produits de l'industrie stéarique*.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sphères au moins, dans des serpentins en fer qui surmontent le fond de la chaudière et où elle se condense pour être utilisée ensuite à l'alimentation des générateurs. Depuis nombre d'années, dans les savonneries marseillaises ainsi que dans les fabriques de l'intérieur, on se sert de chaudières en tôle, habituellement entourées de maçonnerie, afin de maintenir une température aussi élevée que possible, et présentant la forme d'un cône tronqué; au bas et à côté de ces chaudières est installé un réceptacle pour les lessives d'épinage; elles sont chauffées soit à feu nu, soit plutôt à la vapeur.

A la sortie des chaudières, la pâte de savon va dans des récipients de construction variable, qu'on désigne sous le nom de *mises*. Ces mises sont généralement en maçonnerie, quand elles doivent recevoir la pâte de savon marbré bleu pâle ou bleu vif de Marseille; leur profondeur est de o m. 75 à o m. 80, et leur contenance ordinaire correspond à la quantité sortant de la chaudière. On y ménage un orifice par lequel s'écoule peu à peu la lessive interposée dans la pâte; une porte latérale, retenue par des traverses en fer, permet de retirer le savon. Les fabricants de savon blanc de Marseille et les fabricants du Nord, dont les savons ne contiennent pas de lessives interposées, emploient des réceptacles rectangulaires, d'une capacité de o m. c. 500 à 5 mètres cubes, placés sur le sol, construits soit en bois doublé de tôle, soit en tôle armée de cornières, et démontables.

Pour passer à l'état de savons de toilette, les savons fabriqués en chaudière exigent un certain nombre d'opérations: réduction en copeaux; mélange des parfums et des couleurs; broyage; pelotage; moulage; paquetage. Je citerai, parmi les machines employées à ces opérations, une sorte de *rabot circulaire* qui découpe les pains en copeaux et auquel la matière est fournie par une trémie; les *broyeuses* à cylindres; les *peloteuses*, qui pétrissent, manipulent, façonnent les pâtes, au moyen d'une vis mobile à frottement doux dans un cylindre en fonte, où elle engage la pâte sortant de la broyeuse, pour la chasser vers une filière, à l'extrémité de laquelle des organes appropriés la découpent automatiquement. Le moulage est opéré à l'aide de presses à vis.

Des étuves utilisées dans certains cas pour la dessiccation des pains

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de savon, avant le frappage, complètent le matériel ordinaire de la savonnerie.

Le rapport de la classe 45 (Produits chimiques) et celui de la classe 51 (Matériel des arts chimiques) mentionnent des appareils qui servent depuis peu de temps à extraire la glycérine, soit des lessives usées, soit des corps gras neutres avant leur transformation en savon.

Deux séries bien distinctes d'opérations se succèdent dans la fabrication des *bougies :* elles ont pour objet, l'une de transformer les matières grasses neutres en acides gras, l'autre de convertir mécaniquement en bougies ces acides gras.

J'ai précédemment rappelé les diverses méthodes de saponification; il ne me paraît utile d'insister ici que sur celles qui ont prévalu, c'est-à-dire sur la saponification calcaire en vase clos, suivie ou non de distillation des acides gras par la vapeur surchauffée, et sur la saponification sulfurique combinée avec le même procédé de distillation.

Pour la saponification calcaire sous pression, on se sert ordinairement d'une chaudière autoclave cylindrique en cuivre, terminée par deux calottes et portant à sa partie supérieure un tuyau de charge (destiné à l'introduction de l'eau, des matières grasses et de la chaux), un tuyau de vidange, un tube d'introduction de la vapeur, une soupape de sûreté, un manomètre, un trou d'homme. L'un des exposants montrait une belle chaudière sphérique.

Quant à la saponification sulfurique, elle se pratique généralement dans des cuves en bois doublées de plomb. Divers appareils sont en usage pour la distillation ultérieure des acides gras à la vapeur. Ces acides peuvent, après lavage, passer dans une cuve chauffée directement par la chaleur perdue d'un fourneau ou mieux par un serpentin à retour de vapeur, puis dans un alambic en fonte où arrive de la vapeur surchauffée. Aujourd'hui l'alambic affecte, le plus souvent, une forme sphérique ou elliptique, de manière à offrir une grande surface d'évaporation; il est chauffé par la chaleur perdue du fourneau servant à surchauffer la vapeur. La condensation se fait, soit dans des réservoirs

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

munis de chicanes et entourés d'eau froide, soit dans un système de tubes verticaux comme ceux des usines à gaz.

Différents constructeurs avaient exposé en 1889 des appareils à saponifier par l'acide sulfurique, des autoclaves pour saponification par l'eau seule sous une pression de 14 kilogrammes, des alambics de distillation. M. Bardy donne la description de ces appareils.

Une fois les acides gras préparés, il faut les convertir en bougies. Les procédés mécaniques employés à cet effet comprennent le moulage en formes, le pressage à froid, le pressage à chaud, la préparation des mèches, le moulage en bougies, l'étendage et le blanchiment, le polissage et le rognage, le paquetage.

Les acides gras sont formés par un mélange d'acides solides et d'acide oléique; ce dernier doit être éliminé. On commence par verser les acides dans des formes ou mouleaux généralement en fer-blanc, où ils cristallisent. Puis on soumet les gâteaux sortant de ces mouleaux à l'action de la presse hydraulique : les presses à froid sont verticales ou horizontales; pour le pressage à chaud, la disposition horizontale est seule en usage. Des modifications heureuses apportées aux anciennes presses à chaud assurent le chauffage sur place, par la vapeur, des plaques entre lesquelles s'intercalent les pains d'acides gras. Les cylindres en fonte ont été remplacés par des cylindres en fer forgé, qui ne sont pas exposés aux mêmes chances de rupture. Après être sortis des presses sous forme de galettes, les acides gras doivent encore subir une épuration dans une cuve contenant de l'eau acidulée à l'acide sulfurique; cette cuve est chauffée par de la vapeur circulant dans des serpentins.

Préalablement au moulage en bougies, l'acide stéarique liquide est soumis à un refroidissement partiel dans des cuves en bois, au moyen d'une agitation mécanique et jusqu'à une température voisine du point de fusion. A l'origine, l'outillage des couleries de bougies se composait d'une série de moules en étain, surmontés d'un godet; en 1841, M. Cahouet introduisit le porte-moule à robinet; cinq ans plus tard, on parvint à construire une machine disposée de telle

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sorte que la mèche pénétrât d'elle-même dans le moule, par l'enlèvement de la bougie solidifiée. Toutes les machines actuelles sont à enfilage continu; le démoulage se fait mécaniquement, soit par une traction exercée de la partie supérieure, soit par une pression à la partie inférieure; des dispositifs convenables assurent le chauffage des moules à l'eau chaude dans une caisse qui les contient, puis leur refroidissement par un courant d'eau froide. Souvent ces machines se groupent sur une plaque tournante et viennent successivement en face d'un robinet amenant à volonté de l'eau chaude ou de l'eau froide.

Le rognage, le brossage et le marquage s'effectuent à l'aide d'une machine spéciale.

Au nombre des appareils exposés en 1889, on peut signaler des appareils pour l'évaporation des eaux glycérineuses de stéarinerie; un appareil pour refroidissement de l'acide oléique par couches minces, qui permet d'extraire avec économie l'acide stéarique dissous dans l'acide oléique; des presses hydrauliques; un pince-mèche; une machine à rogner, polir et marquer les bougies.

5. Appareils de la pharmacie. — Des progrès notables ont été réalisés, pendant la seconde moitié de ce siècle, dans le matériel de la pharmacie. En 1867, M. Amédée Vée, rapporteur du jury, citait la substitution du chauffage par la vapeur au chauffage à feu nu, réforme des plus utiles au point de vue de l'économie et surtout de la régularité; l'invention des machines à pastilles; celle des capsules sphéroïdes, formées d'une enveloppe imperméable aux odeurs, mais soluble dans l'eau, dont la cavité recevait la substance active.

Lors de l'Exposition de 1878, apparurent des machines à fabriquer les sinapismes et les cataplasmes en feuilles, des piluliers mécaniques, des disques à arrondir les granules, des instruments spéciaux pour préparer les cachets médicamenteux et les gélatines médicinales, des compte-gouttes de précision, des dialyseurs, des appareils à filtration continue, des instruments à compter et timbrer les pilules.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En 1889, on a principalement remarqué un encapsuleur, destiné au logement des poudres dans les capsules gélatineuses, ainsi que la série des instruments nécessaires au stypage, c'est-à-dire à la réfrigération locale par l'évaporation rapide du chlorure de méthyle.

6. Matériel de la verrerie[1]. — Le matériel de la verrerie peut se diviser en deux catégories distinctes : matériel de préparation des matières premières; matériel du travail du verre ou du cristal.

Du matériel de préparation, je n'ai en quelque sorte rien à dire. Il est peu important et comprend surtout des appareils à mélanger les matières premières, à laver le sable, à préparer le minium et le carbonate de potasse. Encore ces installations n'existent-elles point dans la plupart des verreries.

Quant au matériel de la fabrication proprement dite, il appelle quelques explications. Ce sont les fours qui y jouent le rôle principal. Il y a des *fours de fusion*, des *fours à fritter* les matières premières et *à recuire* les objets fabriqués, des *fours à étendre* les manchons de verre.

Autrefois les fours de fusion étaient tous chauffés au bois ou à la houille. Ils recevaient une série de *creusets* ou *pots*, où s'opérait la fonte, et, pour le verre à glaces, des cuvettes d'affinage. Leur sole affectait une forme circulaire, elliptique ou rectangulaire; au pourtour régnait une banquette destinée à porter les creusets. Tantôt le foyer occupait le centre du four; tantôt il se trouvait placé latéralement. Un ouvreau, ménagé au-dessus de chaque pot, permettait d'y cueillir le verre et d'y introduire les matières à fondre. Quand l'opération exigeait l'emploi de creusets fermés, le col de ces creusets, en forme de cornues, passait par des embrasures analogues ménagées dans la paroi du four. L'air arrivait par des galeries souterraines. Les fours de fusion servaient d'ailleurs au réchauffage des objets ébauchés, que l'on y introduisait par des ouvreaux de travail.

Les fours à fritter et à recuire étaient des fours à réverbère, conti-

[1] Voir tome V, page 35, le chapitre consacré aux cristaux et à la verrerie.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nus ou discontinus, chauffés tantôt à flammes perdues, tantôt par un foyer particulier. Une disposition fréquente consistait à placer aux angles du four de fusion des fours annexes (ou *arches*), chauffés par les gaz du premier four et servant aux frittes ainsi qu'à la cuisson des creusets.

Enfin les fours à étendre, chauffés par un foyer latéral, comprenaient ordinairement deux chambres avec cloison séparative, l'une pour l'étendage, l'autre pour le refroidissement.

Dès 1862, la Commission française à l'Exposition de Londres signalait l'apparition des fours Siemens à régénération de chaleur, dont j'ai déjà parlé, page 321, à propos de la métallurgie. M. Peligot, rapporteur du jury de la classe 16 à l'Exposition de 1867, insista tout spécialement sur les avantages de ces fours gazogènes, où le combustible était distillé plutôt que brûlé et qui assuraient une bien meilleure utilisation de la chaleur. Cependant ils ne se répandirent pas aussi rapidement qu'on aurait pu le croire. En 1878, M. Clémandot constatait encore les hésitations de beaucoup de verreries devant la dépense de transformation de leur outillage et devant les difficultés pratiques que les appareils Siemens paraissaient offrir pour la petite industrie; mais il mentionnait en même temps une modification heureuse des fours anciens suivant le système Boëtius, à grilles inclinées et très profondes; ce système donnait en effet une température plus régulière et n'exigeait pas la même habileté de la part des chauffeurs. Depuis, le temps perdu a été regagné, et l'emploi du gaz s'est généralisé dans les usines, non seulement pour les fours de fusion, mais aussi pour les fours à étendre.

Un autre progrès s'est accusé pendant la dernière période décennale. Avant 1878, des tentatives avaient été faites pour substituer des bassins aux creusets, dans la fabrication des bouteilles. Ce furent d'abord, à Blanzy, des fours intermittents à bassins. Puis Frédéric Siemens établit à Dresde des fours continus, dont un modèle figurait à l'Exposition de Vienne en 1873; M. Richarme, de Rive-de-Gier, suivit bientôt cet exemple, en apportant au système Siemens certains perfectionnements. On enfournait d'un côté, pendant que le cueillage

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

du verre s'effectuait de l'autre; la production était ainsi triplée. Aujourd'hui les fours à bassins et à fusion continue, chauffés par le gaz, ont pris une très grande extension dans les fabriques de verre à vitres, comme dans les fabriques de verre à bouteilles. M. Baudoux, de Belgique, les a récemment perfectionnés.

Il existe néanmoins encore des fours à creusets, pour les autres branches de la verrerie. Des fours spéciaux, destinés à la fabrication des verres d'optique, méritent d'être cités ici.

Les limites de ce rapport m'empêchent d'insister sur les dispositions des fours à recuire. Parmi ces fours, les uns sont discontinus : après les avoir portés au rouge sombre, on y place les objets et on en ferme les issues, pour les laisser refroidir lentement. Dans d'autres, le travail est continu; les objets y circulent sur des chariots et sortent en un point où la chaleur est presque nulle.

Je dois également passer sans m'arrêter aux fours à étendre, fours à pierre fixe, fours à pierre roulante, etc.

L'industrie des glaces coulées comporte un matériel fort intéressant pour le coulage : grues, tables, chariots, chemins de fer de service, machines et instruments divers employés à *dégrossir*, à *doucir*, à *savonner* et à *polir* les glaces, etc.

Mentionnons encore les meules à tailler. Ces meules en métal, en pierre ou en bois, sont mues au pied ou plus souvent commandées par des moteurs hydrauliques.

7. Matériel de cuisson de la céramique. — Sauf les produits réfractaires, l'industrie céramique était peu ou point représentée à l'Exposition universelle de 1889, dans la classe où le règlement général avait rangé son matériel. Cette abstention pourrait me permettre de la passer ici sous silence; j'y serais d'autant plus autorisé que deux autres chapitres (Céramique, tome V, page 61, et Matériel de la confection des objets de mobilier et d'habitation, tome VII) contiennent des indications sur les progrès du matériel. Toutefois quelques explications complémentaires me paraissent indispensables, en ce qui concerne les fours de cuisson.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Au premier rang se placent les *fours à alandiers*. Construits pour la première fois en France, vers 1769, par P. Guettard, de la manufacture de Sèvres, ces fours ont été introduits en Angleterre, dans le Staffordshire, par Wedgwood, et se sont ensuite répandus dans toute l'Europe, pour la cuisson de poteries très différentes. Originairement ils n'avaient ni second laboratoire, ni seconde voûte; comme la cuisson n'est point continue, on perdait, après chaque fournée, la chaleur accumulée dans les parties supérieures : plusieurs fabricants ont eu l'idée d'utiliser cette chaleur mise pour ainsi dire en réserve, en l'employant soit à la cuisson de poteries plus tendres n'exigeant pas une température aussi élevée que celle du laboratoire inférieur, soit à la cuisson de poteries semblables aux premières, par l'adjonction d'alandiers spéciaux. Bonnet, d'Apt, établit, d'après ce principe, le premier four à plusieurs laboratoires et foyers superposés. En 1822, le marquis Ginori (manufacture de Doccia, près de Florence) construisit un four à quatre étages, cuisant des poteries de nature différente : quand la poterie inférieure était cuite, on cessait le feu dans l'étage correspondant et on le continuait dans les alandiers supérieurs. Des fours analogues ne tardèrent pas à s'élever soit dans les faïenceries, soit dans les fabriques de porcelaine ou de poterie. Sèvres, notamment, fit en 1842 son four à deux étages superposés pour la cuisson de la porcelaine dure. Les ouvrages sur la céramique et les dictionnaires technologiques donnent tous la description des fours à trois étages de Sèvres : l'étage supérieur, sans alandiers, est consacré au dégourdi; les deux étages inférieurs, avec alandiers, fournissent le grand feu.

En même temps que se réalisaient dans la forme des fours les changements propres à diminuer le prix de la cuisson, des efforts étaient faits pour remplacer le bois par des combustibles moins coûteux. C'est sans doute en Angleterre qu'eurent lieu les premières tentatives, dont la date ne saurait d'ailleurs être précisée. Sur le sol français, la cuisson économique de la porcelaine dure, à l'aide de la houille, fut essayée à Lille, vers 1785 : elle s'est définitivement implantée en France à partir de 1846. Dès 1804, un brevet garantissait

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à Revol, de Lyon, la cuisson de la faïence stannifère au combustible minéral, problème difficile dont la solution devait, quarante ans plus tard (1846), procurer à l'usine de Bourg-la-Reine une économie de 50 p. 100 sur la dépense en combustible. MM. Ebelmen et Salvétat, rendant compte de ces faits dans leur rapport sur l'Exposition universelle de 1851, ajoutaient que la fumée produite par la combustion de la houille exerçait une influence tantôt nuisible, tantôt favorable, sur les fonds de couleur dits *de grand feu;* ils voyaient dans l'emploi des flammes combinées du bois et de la houille, suivant la proposition de M. Chevandier, un moyen de composer l'atmosphère des fours à porcelaine de telle sorte qu'on pût y cuire avec succès et à volonté les couleurs demandant des gaz réducteurs ou des gaz oxydants. Les deux rapporteurs de 1851 mentionnaient aussi diverses initiatives, pour cuire à l'aide du gaz de houille et de l'air chaud, du gaz de tourbe, des gaz de hauts fourneaux, des gaz de fours à coke.

M. Aimé Girard, organe du jury de 1867, signala de nouveaux efforts tendant à diminuer la dépense de combustible : Montereau venait de reconstruire ses fours d'après le système de M. Boch de Maestricht, qui utilisait beaucoup plus complètement le calorique des flammes; Creil poursuivait l'application des fours Siemens, malgré les difficultés inhérentes à l'usage de ces appareils dans une industrie dont la condition essentielle était la discontinuité.

Lors de l'Exposition de 1878, M. V. de Luynes, rapporteur de la classe 20, a fait connaître un nouveau système de cuisson continue au gaz, installé à la manufacture impériale de Charlottenbourg, ainsi qu'un modèle de four Siemens proposé par M. Dubreuil.

Il semble que la situation ne se soit pas très sensiblement modifiée depuis 1878.

Outre les fours à alandiers, l'industrie céramique emploie d'autres fours qui n'appellent ici aucune observation particulière : fours Hoffmann pour la cuisson des briques, fours à sole inclinée pour grès communs, moufles placés autour d'un foyer central pour les boutons de porcelaine, moufles pour les couleurs, etc.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

8. Matériel de la fabrication du gaz[1]. — Le matériel des usines à gaz comprend les *fours*, les *cornues*, les *barillets*, les *collecteurs*, les *aspirateurs*, dits aussi *exhausteurs* ou *extracteurs*, les *condenseurs* ou *réfrigérants*, les *épurateurs*, les *gazomètres*.

A l'origine, chaque *four* ne desservait qu'une cornue; plus tard, on a réuni les cornues par groupes de deux, trois, cinq, sept et même neuf cornues, ce qui a permis une notable économie de combustible. L'adossement des fours donne encore de nouveaux avantages à cet égard, quand la disposition des lieux et l'importance des usines s'y prêtent. Parmi les conditions auxquelles doivent satisfaire les fours, l'une des plus essentielles est que le contact des flammes avec les cornues soit très développé.

Dans les fours à combustible solide (houille ou coke), une grande partie de la chaleur produite par la combustion va se perdre dans la cheminée. Aussi avait-on entrepris, dès 1863, d'appliquer à la distillation de la houille le système Siemens, c'est-à-dire d'employer des foyers gazogènes, avec récupérateurs de chaleur. L'arrivée des gaz combustibles et celle de l'air étaient renversées simultanément toutes les heures, de manière à déterminer alternativement la combustion dans deux régions opposées du four; on conservait ainsi une température plus uniforme et on évitait d'avoir toujours le coup de feu sur les mêmes cornues.

Les premiers types de gazogènes étaient placés hors des fours, auxquels ils étaient reliés par des conduites en tôle; mais l'obstruction rapide de ces conduites y a fait renoncer. En plaçant les gazogènes près des fours, on utilise mieux la chaleur propre des gaz et on simplifie les constructions. Malheureusement les fours montés avec gazogène coûtent très cher de premier établissement, et, s'ils ont pris quelque extension, c'est surtout parce qu'ils prolongent sensiblement la durée des cornues.

Il existe aussi des fours à goudron et à huile lourde. Le chauffage au goudron remonte à plus de soixante ans; toutefois il n'a com-

[1] Voir tome V, page 221, *Éclairage au gaz*.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mencé à se répandre qu'avec l'usage des cornues en terre réfractaire. Des difficultés pratiques se sont opposées assez longtemps à l'emploi des huiles lourdes; mais, en les maintenant à une température suffisante pour qu'elles restent fluides, on règle facilement leur écoulement et leur combustion.

J'ai déjà indiqué, page 470, comment les *cornues* en terre réfractaire ont pris la place des anciennes cornues en fonte. Leur section affecte la forme d'un ⊐ renversé, à angles légèrement arrondis, et donne une surface de chauffe considérable, tout en ayant la hauteur voulue pour la production du coke. Une couche de graphite ne tarde pas à tapisser la face intérieure des cornues et à corriger leur porosité; cette couche portant obstacle à la transmission de la chaleur et diminuant le volume disponible, au fur et à mesure que son épaisseur augmente, diverses méthodes ont été proposées pour en empêcher la formation ou pour la faire disparaître.

Pauwels a établi, en 1849, des fours sans cornues, où la distillation s'effectuait sur une vaste sole et qui donnait du coke dur, appelé aussi *coke métallurgique* et *coke de four*. Le coke était enlevé au moyen d'un *repoussoir*. Ce système, bien qu'ayant reçu plusieurs applications, ne s'est pas généralisé et les cornues sont restées l'instrument ordinaire de la distillation.

De nombreux inventeurs se sont livrés à des recherches patientes, pour simplifier la main-d'œuvre de l'enfournement et du défournement. On avait naturellement pensé aux cornues verticales; mais le gaz, devant traverser une couche épaisse de combustible incandescent, perdait beaucoup de son pouvoir éclairant. Les études se sont concentrées, depuis 1873, sur le chargement et le déchargement mécaniques, sans fournir de solutions réellement pratiques. M. Coze exposait en 1889 un système, qui lui a valu une médaille d'or et qui consiste à donner aux cornues une inclinaison voisine du talus d'éboulement; le chargement se fait, par la partie supérieure, à l'aide de wagonnets, et le déchargement par la partie inférieure des cornues.

A mesure qu'il se dégage des cornues, le gaz d'éclairage arrive par

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les colonnes montantes et les colonnes-plongeurs dans le *barillet*, long cylindre en fonte contenant de l'eau. La section des colonnes montantes a été graduellement augmentée, en vue de réduire les obstructions causées par les poussières et les matières goudronneuses. Quant au barillet, des modifications y ont été apportées, pour l'écoulement facile et constant des goudrons épais qui s'y amassent, forment bouchon à l'orifice des tuyaux plongeurs, font obstacle au passage du gaz et provoquent une élévation notable de la pression dans les cornues.

Au sortir des barillets, le gaz passe dans les *collecteurs*, tuyaux horizontaux de gros diamètre. Le ralentissement de la vitesse du gaz permet le dépôt du goudron à une température assez élevée pour qu'il ne dissolve pas les carbures utiles au pouvoir éclairant.

Le gaz d'éclairage tend à prendre au point même où il se forme une pression déterminée par les résistances passives des appareils de fabrication et de distribution, ainsi que par la charge nécessaire au service des becs ou autres organes consommateurs. Cette pression, ayant le double inconvénient de faciliter les fuites et la détérioration des cornues, on la détruit en aspirant le gaz pour le refouler vers le gazomètre. Grafton eut le premier l'idée des *exhausteurs :* il imagina une roue à godets ou à escargots, sorte de compteur mû mécaniquement en sens inverse de sa rotation normale. Ce type a été suivi de beaucoup d'autres : extracteurs à cloches (dérivant de la disposition employée par Samuel Hall pour le flambage des tissus et brevetée en France vers 1817); extracteurs rotatifs, présentant une grande analogie avec les pompes rotatives usitées dans l'industrie; extracteurs à piston, inspirés des machines soufflantes; extracteurs à jet de vapeur, etc. Les extracteurs à cylindres paraissent avoir l'avantage. Un régulateur d'extraction permet, soit de modifier automatiquement la vitesse de la machine, pour la proportionner à la production du gaz, soit tout au moins d'aspirer, en même temps que le gaz des cornues, du gaz déjà emmagasiné, dans le cas où la vitesse serait excessive.

En sortant des collecteurs, le gaz est conduit dans des *réfrigérants* où se condense la majeure partie des matières liquéfiables. L'appareil se compose le plus souvent d'une série de tuyaux en *jeu d'orgue*,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dont le contact avec l'air ambiant suffit pour déterminer la condensation. Un autre dispositif consiste à faire circuler le gaz dans l'espace annulaire compris entre deux cylindres concentriques et à produire un courant d'air dans le cylindre intérieur.

Après avoir franchi le jeu d'orgue, le gaz d'éclairage peut être lavé dans de grandes colonnes à coke ou *scrubbers,* qui reçoivent des eaux ammoniacales non saturées et contribuent à retenir les matières goudronneuses et les sels ammoniacaux. On emploie aussi dans le même but des cuves remplies de sciure imprégnée d'eau.

MM. Pelouze et Audouin ont imaginé un *condensateur* mécanique, récompensé en 1878 par l'attribution d'une médaille d'or. Cet appareil débarrasse absolument le gaz de ses particules goudronneuses les plus fines. Il est fondé sur le principe de la condensation par le choc : divisé en filets très minces, le gaz se trouve projeté contre des surfaces métalliques, où les globules goudronneux sont écrasés, soudés et réduits en couche liquide. M. Audouin a récemment amélioré les dispositions premières de ce condensateur, qui est employé dans presque toutes les usines de France et de l'étranger.

A l'épuration physique succède l'*épuration chimique,* destinée à compléter l'enlèvement des sels volatils d'ammoniaque, en même temps qu'elle absorbe l'acide sulfhydrique et le sulfhydrate d'ammoniaque. On s'est d'abord servi de la chaux; mais l'épuration n'était pas complète. Aujourd'hui l'épuration se fait à l'oxyde de fer, dans des caisses où ce réactif est disposé sur des claies et dont le gaz sort complètement débarrassé d'acide sulfhydrique et de sulfhydrate. La matière épurante, extraite des caisses, se revivifie au bout de quelque temps par l'exposition à l'air.

Le gaz épuré traverse un grand *compteur de fabrication,* à compartiments, avec *rapporteur* permettant au directeur de se rendre un compte exact du travail. Un compteur de 40,000 mètres cubes par vingt-quatre heures était exposé en 1889.

Les *gazomètres* sont trop connus pour qu'il y ait intérêt à en rappeler les dispositions. Presque partout, on a abandonné les cloches à contrepoids et adopté les gazomètres à tubes articulés; ce dernier

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mode de suspension, dû à Pauwels, permet de dégager les maçonneries des anciens tubes d'arrivée et de sortie. En Angleterre, on a construit un grand nombre de gazomètres télescopiques : leur avantage est de limiter la profondeur de la cuve; mais ils se prêtent difficilement à l'adaptation des tuyaux articulés.

Généralement on interpose entre les valves de sortie et les conduites des *régulateurs d'émission*, qui augmentent ou diminuent le débouché du gaz, suivant que la pression croît ou décroît dans la conduite. Cela ne dispense pas de placer des régulateurs particuliers dans les salles ou établissements auxquels aboutissent les tuyaux de distribution. Divers types de régulateurs, sur lesquels le rapporteur du jury de la classe 51 donne les indications voulues, figuraient dans cette classe.

Des appareils dits *mouchards* permettent d'enregistrer graphiquement les pressions, à l'aide d'un crayon qui se déplace devant une feuille de papier enroulée sur un cylindre tournant.

Bien que la nomenclature officielle rangeât dans la classe 63 (Matériel et procédés du génie civil, des travaux publics et de l'architecture) le matériel et les appareils servant aux distributions de gaz, le comité d'admission de la classe 51 a ouvert ses portes à plusieurs exposants de tuyaux et de compteurs. Comme par le passé, les tuyaux sont en fonte ou en tôle et bitume, système Chameroy. Quant aux compteurs, dont j'ai déjà parlé, tome V, page 222, ils continuent à exercer la sagacité des inventeurs, qui s'efforcent d'établir une conformité parfaite entre les indications de l'appareil et le volume consommé, soit en rendant ces indications indépendantes du niveau de l'eau, soit en empêchant les variations de hauteur de la nappe liquide. L'Exposition de 1889, de même que sa devancière de 1878, montrait un certain nombre de types convenablement étudiés.

Il ne me reste à mentionner que les vérificateurs d'épuration du gaz et les vérificateurs du pouvoir éclairant. On vérifie l'épuration au moyen de papier préparé à l'acétate de plomb : ce papier doit conserver toute sa blancheur. Les procédés de mesure du pouvoir éclairant ont pour base la méthode photométrique étudiée et appliquée

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

par Dumas et Regnault, vers 1860; en Angleterre et en Allemagne, on emploie de préférence le photomètre Bunsen ou photomètre à tache.

9. Matériel de l'industrie du pétrole[1]. — Avant 1889, les procédés d'extraction et de raffinage du pétrole, quoique très perfectionnés, étaient fort peu connus du public. MM. Deutsch ont comblé cette lacune par leur remarquable exposition; au moyen de dessins, de cartes, de statistiques, de photographies, de modèles, de vues panoramiques, ils mettaient au grand jour toutes les phases de l'exploitation, toutes les opérations auxquelles la matière première est soumise, toutes les transformations et les manipulations qu'elle subit avant d'être livrée au consommateur, tous les usages dont elle est susceptible.

Les puits *américains* sont en général forés à la corde et à la tige de bois; un *derrick*, sorte de chèvre en bois à quatre montants, sert à la manœuvre; la force motrice est fournie par un générateur et une machine à vapeur, que l'on a soin d'éloigner du forage, afin de prévenir les explosions ou les incendies sous l'action des dégagements de gaz. M. Bardy donne des détails circonstanciés sur le matériel de sondage, sur le moteur, sur les moyens mis à la disposition du foreur pour commander à distance les organes d'admission de la vapeur et l'appareil de renversement, sur le curage des puits. Le prix des forages varie de 1,500 à 4,500 dollars.

En creusant les puits, on est exposé à rencontrer des eaux provenant de couches supérieures, ainsi que des dégagements de gaz inflammable, pouvant former avec l'air des mélanges explosifs. Pour combattre les infiltrations d'eau, l'industrie américaine enveloppait autrefois le tubage de fourreaux en toile contenant de la graine de lin, qui se gonflait à l'humidité et constituait un joint étanche entre les parois du trou de sonde et le tube; aujourd'hui elle assure plutôt l'étanchéité par une garniture de cuir embouti. Quant au gaz, il est

[1] Voir *supra*, pages 11 et 212.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

recueilli dans une chambre close, que la tige de la pompe ou la conduite de pétrole traversent par un presse-étoupes.

Le colonel Roberts a eu l'idée, en 1862, de torpiller les puits à pétrole, pour augmenter leur production. Depuis 1866, cette pratique s'est développée, grâce à ses excellents résultats.

Parfois, quand la couche pétrolifère a été atteinte, le pétrole jaillit par la pression des gaz; cependant les puits jaillissants ou *flowing-wells* sont beaucoup moins nombreux aux États-Unis que les *pumping-wells*, dont l'huile est extraite à la pompe.

A sa sortie du puits, le pétrole passe dans une cuve en bois où il se débarrasse des terres, du sable et des autres matières étrangères; puis des pompes le refoulent dans de grands réservoirs d'emmagasinage, qui contiennent jusqu'à 35,000 barils. De là, il est dirigé, soit par des wagons-citernes, soit par des conduites ou *pipe-lines* vers les raffineries ou les ports d'embarquement (New-York, Philadelphie, Baltimore, etc.). Les *pipe-lines* ont en Amérique un développement de plus de 12,000 kilomètres. New-York et Philadelphie possèdent des docks d'embarquement pourvus de réservoirs dans lesquels peuvent s'accumuler des stocks considérables.

En *Russie*, l'extraction a lieu comme en Amérique par des puits artésiens. Mais la nature ébouleuse des terrains nécessite de plus grands diamètres, exige un tubage solide et oblige à employer la tige rigide, au lieu de la corde, pour le forage.

Souvent le liquide jaillit avec une force extrême et donne ainsi naissance à des fontaines d'un aspect grandiose, à des ruisseaux d'un débit abondant, à des lacs couvrant de vastes étendues dans les bas-fonds. Quelquefois le pétrole va s'enflammer au contact du feu des chaudières et projette d'immenses colonnes de flammes; l'incendie étant impossible à éteindre, on se borne à le circonscrire par des digues. Les lacs sont eux-mêmes le siège de fréquents sinistres. Certaines fontaines jaillissantes fournissent, pendant de longs mois, 30,000 à 40,000 barils par jour. Les exploitants cherchent à se prémunir contre les pertes et les accidents, soit en recueillant le liquide

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dans des bassins de sable, soit en le captant à l'aide de *kalpacks*, qui permettent de l'extraire ensuite au fur et à mesure des besoins.

Lorsqu'il n'y a pas jaillissement, l'extraction s'effectue au moyen de longs seaux à soupape inférieure (*jelonkas*), dont les mouvements de descente et d'ascension sont produits par une machine à vapeur.

De même qu'aux États-Unis, l'huile ainsi extraite est dirigée vers des cuves de décantation, puis envoyée dans des réservoirs d'emmagasinage, d'où elle se rend à Bakou par des *pipe-lines* ou des wagons-citernes. Par suite du peu d'étendue de la région pétrolifère et de la proximité des ports d'embarquement ou des raffineries, les *pipe-lines* sont beaucoup moins développées qu'en Amérique.

Les huiles brutes sont soumises au raffinage, c'est-à-dire à la distillation suivie d'un traitement par l'acide sulfurique et la soude caustique. Ces opérations ont pour but de classer les hydrocarbures suivant leur volatilité, de séparer les divers produits commerciaux et de les épurer.

Tout d'abord [1], les huiles subissent une première distillation dans de grandes chaudières en tôle de fer ou d'acier, disposées de manière à écarter toute chance de fuite et chauffées à feu nu. Les produits de la distillation passent par de longs serpentins réfrigérants, qui les séparent de premier jet selon leur poids spécifique et leur degré d'inflammabilité. Des appareils spéciaux retiennent les gaz incondensables à la température ordinaire : convenablement emmagasinés, ces gaz servent à l'éclairage de l'usine ou au chauffage des appareils distillatoires.

La première distillation ne peut être poussée très loin, parce qu'il se forme des dépôts de coke et que les chaudières seraient trop exposées aux détériorations. On l'arrête au point voulu et on décante les résidus goudronneux dans une seconde série de chaudières à feu nu, en fonte, dites *black-pots*, où la distillation s'achève jusqu'au coke.

[1] Les procédés auxquels se réfèrent ces indications sont ceux du bel établissement de MM. Deutsch, à Rouen.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Disons en passant que ce coke très brillant et très pur constitue une excellente matière pour les crayons destinés à l'éclairage électrique.

Grâce à la déflegmation, une grande partie des produits distillés est susceptible d'utilisation sans autre traitement physique. Cependant quelques produits intermédiaires demandent une rectification, qui se pratique dans des chaudières chauffées par des serpentins à vapeur directe ou indirecte.

Après avoir été mélangés dans les proportions voulues pour donner les divers types commerciaux, les produits distillés et, s'il y a lieu, rectifiés subissent le traitement chimique. Les appareils employés à cet effet portent le nom d'*agitateurs*, parce que la masse d'huile y est mise en mouvement de façon à se bien mélanger avec l'agent chimique : il y a des agitateurs mécaniques et des agitateurs à air comprimé. En sortant des agitateurs, la soude et surtout l'acide sulfurique sont intimement unis à des matières goudronneuses; on les décante dans des bacs, et le goudron est utilisé pour le chauffage ou distillé à nouveau.

Enfin à l'épuration chimique succède une filtration soignée.

A côté des essences, des huiles lampantes, des huiles à graisser, etc., se trouve une substance importante, la *paraffine*, que fournissent les huiles lourdes de deuxième jet provenant des *black-pots*. MM. Deutsch opèrent le refroidissement de ces huiles et déterminent la cristallisation de la paraffine par de puissantes machines à glace; ensuite ils procèdent au filtrage à froid, soumettent les tourteaux à une pression énergique dans des presses à chaud, lavent les pains à l'essence de pétrole et les blanchissent au noir animal.

On retire aussi des huiles lourdes la *vaseline*, formée d'hydrocarbures semi-fluides. Ce produit est purifié au moyen d'épurations chimiques, d'une désodorisation par évaporation et de filtrages sur des poudres décolorantes.

Les usines de raffinage ont de grands réservoirs en tôle, à fermeture bien hermétique, où sont emmagasinées les huiles brutes et les huiles ou essences raffinées.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Aujourd'hui elles reçoivent leurs huiles brutes par des navires-citernes, *tank-steamers* ou *tank-ships*. Des pompes opèrent le transvasement dans les réservoirs. Les fûts, dont les Américains faisaient autrefois usage pour l'exportation des huiles lourdes, sont maintenant réservés au transport des produits raffinés; c'est du moins une tendance qui s'accuse de plus en plus.

Quant au transport entre les raffineries et les lieux de dépôt, il s'effectue soit en fût, soit en wagon-citerne, soit en bateau-citerne. Les Américains et les Anglais ont souvent recours aux voitures-citernes pour la livraison aux débitants.

MM. Deutsch exposaient, en dehors du matériel proprement dit, un groupe fort intéressant d'appareils d'essais : alambics pour l'analyse des pétroles bruts, densimètres, instruments pour la mesure du point d'inflammabilité, colorimètres, viscosimètres, photomètres, etc.

Ils montraient aussi, outre les diverses lampes, des carburateurs à air ou à gaz, des moteurs à essence, des appareils à pulvériser les huiles lourdes, etc.

10. Matériel de la blanchisserie. — Je ne veux dire ici quelques mots que des grandes buanderies.

Après avoir été reçu et trié, le linge subit un *essangeage*, c'est-à-dire un trempage préparatoire dont le but est, à la fois, de dissoudre certaines matières solubles dans l'eau et de détacher des pièces les parties solides qui s'y sont agglutinées. Cette opération se pratique au moyen de bacs en bois, en métal, en béton ou en briques, avec robinets d'arrivée d'eau, barboteurs, bondes de trop-plein et de vidange; un grillage retient le linge à une certaine hauteur au-dessus du fond.

Ensuite vient le *coulage* ou *lessivage*, qui a pour objet de saponifier les matières grasses par une solution chaude de cristaux de soude. Le matériel comprend des cuviers, où s'entasse le linge, et des chaudières ou des injecteurs. On se sert ordinairement de cuviers en bois, en tôle galvanisée, en cuivre, munis d'un double fond à grillage et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'un couvercle destiné à concentrer la chaleur et à empêcher la buée de se répandre dans l'atelier; une hotte enlève les vapeurs qui viendraient néanmoins à s'échapper; le couvercle peut être manœuvré mécaniquement. La chaudière à lessive, placée à un niveau inférieur, communique avec le cuvier par deux tuyaux, l'un aboutissant à la partie supérieure de ce récipient et terminé par un champignon ou un tourniquet, l'autre se détachant du double fond; sous la pression de la vapeur, l'eau de lessive s'élève dans le premier tuyau qui la projette sur le linge; elle le traverse, puis revient à son point de départ en s'écoulant dans le second tuyau; le courant de circulation est maintenu pendant le délai nécessaire. Au lieu de chaudières, on emploie aussi des appareils d'injection, qui reçoivent de la vapeur fournie par un générateur distinct.

Au lessivage succède le *lavage*. Cette opération est indispensable pour faire disparaître les traces de matières saponifiées que la lessive n'a pas entraînées. Elle se faisait jadis par brossage, battage et tordage; le linge était très fatigué. Aujourd'hui on a des tambours ou des caisses laveuses, tournant autour d'un axe horizontal; le linge, emporté dans le mouvement des appareils, s'y frotte contre lui-même, au milieu des jets de liquide. Certaines laveuses à double enveloppe et à compartiments permettent le lavage rapide, sans lessivage préalable, avec entrée et sortie automatiques du linge à nettoyer.

Le lavage est complété par un *rinçage*, qui s'effectue soit à grande eau, soit dans des bacs analogues aux cuves d'essangeage, soit dans des laveuses agencées pour l'introduction de l'eau pure et l'expulsion de l'eau sale pendant le fonctionnement.

Il existe des machines résumant les quatre opérations de l'essangeage, du lessivage, du lavage et du rinçage : c'est grâce à des appareils de ce genre que les hôtels peuvent rendre en vingt-quatre heures, blanchi et repassé, le linge des voyageurs.

Les pièces fines sont *azurées*, c'est-à-dire passées au bleu dans des bacs spéciaux.

L'*essorage* constitue une opération importante, en ce qu'il supprime le tordage à la main. Presque toutes les essoreuses ont pour

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

principe l'effet produit par la force centrifuge, qui oblige l'eau à se séparer du linge. On utilise aussi, mais surtout pour le linge destiné à être empesé, des cylindres souples, où les pièces circulent et sont comprimées entre des cylindres de caoutchouc.

Quoique soigneusement essoré, le linge contient encore 40 à 50 p. 100 d'eau et doit être *séché*. Le séchage se fait, soit à l'air libre, soit à l'air chaud, soit par contact. Des séchoirs à air chaud étaient exposés en 1889 : ce sont des étuves chauffées au moyen de divers procédés. Certains métiers à sécher de différents types servent à l'apprêt des rideaux, des tissus guipure et autres genres.

Une fois sec, le linge est, suivant sa nature et sa destination, plié et mis en presse, ou bien repassé, plié et pressé, ou enfin calandré, plié et pressé.

Sans offrir aucune disposition absolument nouvelle, la section de la blanchisserie à l'Exposition présentait néanmoins de nombreux et bons appareils.

11. Instruments de laboratoire. — Les instruments de laboratoire sont si variés qu'ils n'appellent point d'observations générales.

On admirait au Champ de Mars différents appareils en usage dans le laboratoire de M. Schlœsing (Manufacture des tabacs) : volumètre à mercure, eudiomètre de Regnault modifié, trompes à mercure, appareils à déplacement, appareils pour le dosage de l'ammoniaque, etc.

En dehors de cette exposition administrative, il y avait un certain nombre d'expositions particulières tout à fait remarquables, sur lesquelles M. Bardy donne des indications détaillées.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE V.

MACHINES ET APPAREILS DE LA MÉCANIQUE GÉNÉRALE.

§ 1. Machines à vapeur.

1. Origines de la machine à vapeur. — Il me serait facile d'esquisser ici un dithyrambe sur la machine à vapeur, de montrer la véritable révolution sociale qu'elle a déterminée au cours de ce siècle, de rappeler son rôle prépondérant dans l'admirable mouvement industriel dont l'Exposition de 1889 formait comme l'apothéose, de redire son influence bienfaisante au point de vue du relèvement moral et matériel de l'ouvrier, de retracer la part si large qui lui revient dans la civilisation contemporaine. Mais la tâche a été trop souvent et trop bien remplie, pour que je l'entreprenne après tant d'illustres savants ou d'éminents écrivains. On me permettra donc de commencer sans préambule l'étude technique qui doit faire plus spécialement l'objet de ce rapport.

C'est dans l'antique civilisation égyptienne que se présentent les premiers souvenirs relatifs aux origines des moteurs thermiques. Les *Pneumatiques* du célèbre Héron d'Alexandrie[1] contiennent la description de différents appareils où la chaleur était utilisée pour mettre des fluides en mouvement. Parmi ces appareils se rangeaient notamment une machine à air chaud servant à ouvrir et à fermer les portes d'un temple, ainsi qu'un *éolipyle* ou globe à vapeur, fondé sur le même principe que les roues hydrauliques à réaction : l'éolipyle a été fréquemment décrit et classé comme la première machine à vapeur. Toutefois, à supposer même qu'ils aient été réalisés, les appareils du

[1] Vers 120 avant J.-C.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

grand mécanicien d'Alexandrie ne paraissent avoir constitué que des objets d'amusement ou de pure curiosité.

Après Héron, la puissance de la vapeur continue à se manifester partout dans les phénomènes naturels, et cependant bien des siècles s'écouleront avant qu'on trouve une preuve sérieuse de son application à des usages pratiques. Quelques mots épars dans les monuments de l'histoire ou dans certains ouvrages spéciaux semblent indiquer que la force de la vapeur n'est pas ignorée; mais rien n'y révèle les expériences auxquelles elle aurait donné lieu.

Les études scientifiques reprirent faveur vers la fin du XVI^e^ siècle. Bientôt les Jacob Besson, les Agostino Ramelli, les G. B. della Porta, les Salomon de Caus élucidèrent toute une série de problèmes physiques concernant la production de la force motrice par l'intermédiaire de la vapeur.

En 1605, Florence Rivault avait découvert que de l'eau enfermée dans une bombe et soumise à l'action de la chaleur ferait éclater l'enveloppe, si épaisse qu'en fussent les parois. Dix ans plus tard, Salomon de Caus, auteur d'un ouvrage intitulé: *Les raisons des forces mouvantes, avec diverses machines tant utiles que plaisantes*, etc., y démontrait son théorème « L'eau montera, par aide du feu, plus haut que son niveau », et décrivait une machine destinée à élever l'eau sous l'action du pouvoir expansif de la vapeur. Cette machine consistait en une sphère de cuivre partiellement remplie d'eau et dans laquelle était ajusté un tube vertical descendant presque jusqu'au fond : lorsqu'on chauffait l'appareil, la vapeur dégagée du liquide et accumulée au-dessus de sa surface refoulait l'eau dans le tube et l'en faisait jaillir.

Sans nous attarder à l'éolipyle de Giovanni Branca (1629), ni à divers autres appareils de la même époque, qui sont restés dépourvus d'application pratique, arrivons de suite aux premiers emplois sérieux et utiles qu'ait reçus la puissance expansive de la vapeur.

On s'accorde généralement, en France, à regarder Denis Papin comme ayant définitivement ouvert la voie des applications pratiques de la vapeur (1690).

Les Anglais attribuent au contraire cet honneur à Worcester, dont

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la machine est mentionnée dans le fameux livre : *A century of the names and scantlings of inventions by me already practised* (1663). Worcester possédait certainement des notions précises sur la force expansive de la vapeur et avait eu l'idée de s'en servir pour élever l'eau, suivant la proposition déjà formulée quarante-huit ans auparavant par Salomon de Caus. L'originalité de son système, par rapport à celui de l'ingénieur français, semble résider dans l'emploi de deux vases au lieu d'un, afin de rendre le mouvement continu. Mais les indications laissées par Worcester lui-même sont si vagues qu'il est bien difficile de savoir exactement en quoi consistait son projet de « machine commandant l'eau » et surtout de lui reconnaître la priorité dont veulent l'honorer les Anglais.

Avant de rappeler l'œuvre de Papin, il importe de mentionner encore quelques faits d'une certaine importance. En 1678, l'abbé Hautefeuille[1] proposait une machine à *poudre à canon*, dans laquelle les gaz provenant de l'explosion devaient agir sur un piston. Deux ans après, en 1680, dans un mémoire présenté à l'Académie des sciences, Huyghens indiquait également la force expansive de la poudre comme susceptible de fournir une puissance mécanique commode et portative; il soumettait d'ailleurs à la savante assemblée un projet de machine fort intéressant en ce qu'on y trouve, non seulement le prototype de la machine à gaz moderne, mais encore et surtout la première combinaison d'un cylindre et d'un piston. Enfin, dans un livre publié à Paris en 1683, sir Samuel Morland consignait des données relativement précises sur la puissance de la vapeur, donnait pour le rapport entre le volume de l'eau et celui de la vapeur des évaluations remarquablement exactes, et calculait déjà le *travail* de ses machines comme le font aujourd'hui les ingénieurs.

La première machine à vapeur offrant la forme type universel-

[1] Jean Hautefeuille proposa aussi en 1678 d'employer l'alcool dans une machine, « de « telle manière que le liquide s'évaporât et fût « condensé tour à tour sans qu'il s'en perdît » (Stuart). C'est là sans doute le premier projet comportant l'emploi du condenseur à surface et visant à la conservation du fluide moteur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

lement adoptée depuis fut imaginée par Denis Papin. Déjà connu par diverses inventions, notamment par celle du *digesteur*, c'est-à-dire de la *chaudière* à vapeur munie d'une *soupape de sûreté*, Papin eut l'idée de faire le vide en arrière d'un *piston* contenu dans un *corps de pompe*, de telle sorte que la pression atmosphérique s'exerçant sur l'autre face de ce piston le mît en mouvement. Pour réaliser le vide, il recourut d'abord à la poudre, puis essaya une pompe pneumatique[1]; ces deux moyens ne lui ayant pas réussi à son gré, il employa la vapeur d'eau qui agissait, tout d'abord en chassant l'air, puis en se condensant et en opérant un vide presque parfait. Ainsi naquit la première machine à piston et *à condensation*, machine décrite en 1690 dans les *Acta eruditorum* de Leipzig. L'eau destinée à fournir la vapeur était contenue, non dans une chaudière distincte, mais au fond même du *cylindre*. Un foyer placé au-dessous de ce cylindre produisait la vaporisation; à ce moment, la tension de la vapeur équilibrait la pression atmosphérique et le piston montait, entraîné par des contrepoids. On retirait ensuite le feu, de manière à condenser la vapeur et à permettre au piston de redescendre. Cette double manœuvre, reproduite périodiquement, imprimait au piston un mouvement de va-et-vient.

Ce fut également Papin qui décrivit la première *boîte à feu* et la première chaudière à carneaux.

L'élévation de l'eau était le but principal que se proposait Papin en établissant sa machine à vapeur atmosphérique. Cependant l'illustre inventeur entrevoyait bien l'avenir et l'universalité d'applications dont le nouveau moteur serait susceptible. Il s'occupa aussi plus tard du perfectionnement des *machines à feu* construites alors en Angleterre par Savery.

Thomas Savery est le premier qui ait appliqué industriellement la

[1] En 1687, Papin indiquait l'utilisation des forces hydrauliques à grande distance par la méthode pneumatique. D'après son système, la chute était employée à faire le vide dans une vaste chambre mise en relation avec l'arrière du piston de la machine; la conduite de communication entre la chambre à vide et le cylindre de la machine pouvait être aussi longue que l'exigeait la situation des lieux.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

machine à vapeur. Frappé des frais considérables et des difficultés mécaniques qu'entraînait l'épuisement de l'eau dans les mines anglaises, et surtout dans les puits profonds du comté de Cornouailles[1], il fit breveter en 1698 une *machine à feu* destinée à ce travail, mais susceptible aussi « de fournir l'eau aux villes et de faire marcher « toute espèce d'usine ». L'appareil se composait de deux réservoirs juxtaposés et d'une chaudière distincte : chacun des réservoirs était muni d'un tuyau d'aspiration de l'eau, d'un tuyau de refoulement et d'un tuyau de communication avec la chaudière, ainsi que de soupapes et de robinets convenablement disposés. En amenant la vapeur au sommet de l'un des réservoirs, préalablement rempli d'eau, on provoquait le refoulement du liquide; une fois ce réservoir vidé, on fermait la communication avec la chaudière et on laissait la vapeur se condenser[2]; cette condensation faisait affluer l'eau par le tuyau et la soupape d'aspiration, et déterminait un second remplissage, après lequel l'opération recommençait. Les deux réservoirs, fonctionnant alternativement, assuraient la continuité de la marche. Un dispositif connu aujourd'hui sous le nom de *bouteille alimentaire* pourvoyait à l'alimentation du générateur; des *robinets de jauge* y étaient adaptés pour la détermination du niveau de l'eau.

La machine de Savery a été reproduite avec ses organes essentiels dans une pompe à vapeur toute moderne, le pulsomètre de Hall, dont le principal perfectionnement consiste en une distribution de vapeur automatique. Après son invention, elle fut adoptée par un certain nombre d'exploitants de mines, de villes, de gros propriétaires. Cependant les dangers d'explosion qu'elle présentait l'empêchèrent de se répandre dans les mines : pour les refoulements à grande hauteur ou à fort débit, il fallait des pressions de vapeur peu compatibles avec la structure grossière des générateurs; à cette époque, une pression de 3 atmosphères était considérée comme le maximum admissible. La consommation de houille atteignait en outre des proportions

[1] Dans une seule mine, l'épuisement par seaux et manèges exigeait 500 chevaux. — [2] Pour rendre la condensation plus prompte et plus complète, on arrosait extérieurement les réservoirs avec de l'eau froide.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

excessives et allait, au début, jusqu'à 15 kilogrammes par cheval et par heure.

Parmi les successeurs de Savery, plusieurs firent disparaître une partie des inconvénients de ses machines. Le docteur Desaguliers notamment y appliqua, en 1718, la soupape de sûreté; il en simplifia la construction, remplaça les deux réservoirs par un seul et substitua la condensation par injection à la condensation par surface.

2. Constitution progressive du type moderne. — Au commencement du XVIII^e siècle, les éléments primordiaux du type moderne de la machine à vapeur avaient été séparément inventés et appliqués. On était parvenu à réaliser les combinaisons mécaniques indispensables pour l'emploi de la vapeur comme force motrice. Les données essentielles du problème se trouvaient réunies.

Thomas Newcomen, quincaillier et forgeron à Darmouth, sut grouper ces éléments et ces organes en une machine pratique, capable d'utiliser économiquement la force de la vapeur. Sa *machine atmosphérique* [1] comportait un cylindre vertical ouvert à la partie supérieure et analogue à celui de Papin. Introduite à la base de ce cylindre, la vapeur de la chaudière soulevait le piston; on la condensait ensuite par refroidissement extérieur du cylindre au moyen d'eau froide, suivant le procédé de Savery, et la pression atmosphérique faisait redescendre le piston, en produisant un travail moteur. Le piston était relié par une chaîne à l'une des extrémités d'un *balancier*, dont l'autre extrémité portait la maîtresse-tige d'une pompe d'épuisement. Plus tard Newcomen réduisit l'intervalle des oscillations successives du piston et activa dès lors la marche de la machine en condensant la vapeur par une injection directe d'eau froide dans le cylindre.

La machine atmosphérique fut perfectionnée par Humphrey Potter et par Henry Beighton [2] qui imaginèrent divers dispositifs pour la

[1] Brevet pris en 1705 par Newcomen, de concert avec son associé John Cawley et avec Savery, qui avait un droit exclusif à la condensation par surface.

[2] Beighton est l'inventeur de la tringle verticale ou *plug frame* mobile avec le balancier, qui ouvre et ferme les différentes soupapes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

manœuvre automatique des soupapes ou des robinets commandant l'adduction de la vapeur ou l'arrivée de l'eau dans le cylindre. Elle se propagea rapidement dans les districts miniers, particulièrement dans celui de Cornouailles, et fut en outre employée à l'asséchement de terres humides, ainsi qu'à des distributions d'eau dans plusieurs villes.

Pendant assez longtemps, les proportions des machines de Newcomen furent déterminées quelque peu au hasard. John Smeaton, l'un des ingénieurs les plus distingués de l'époque, fixa ces proportions par des études méthodiques et par des recherches expérimentales (1769). Il augmenta la course du piston et accrut notablement la vitesse de marche.

Faits primitivement en laiton, les cylindres le furent en fonte à partir de 1743. La tôle remplaça le laiton et le plomb dans la construction des chaudières. Beighton imagina d'alimenter les générateurs avec l'eau de condensation. On ne tarda pas à en établir qui étaient munis d'une boîte à feu ou foyer intérieur, et de carneaux où passaient les gaz avant de se rendre à la cheminée.

Vingt ou trente années avant la fin du XVIII^e^ siècle, la machine de Newcomen, ainsi perfectionnée, constituait un type bien défini, d'un usage général pour les élévations d'eau.

D'après le témoignage de Belidor (*Architecture hydraulique*, 1739), la fabrication des *machines à feu* était une industrie exclusivement anglaise. Un délai fort long devait encore s'écouler avant que la Grande-Bretagne perdît ce monopole.

Comme nous venons de le voir, la machine atmosphérique ne fut d'abord employée qu'aux épuisements ou aux élévations d'eau. Plus tard, on l'utilisa pour des travaux d'usines, mais par un procédé assez barbare : elle montait de l'eau qui retombait en actionnant une roue hydraulique (disposition appliquée pour la première fois en 1752, suivant Farey). C'est dans ces conditions que, vers 1765, la machine de Newcomen prit possession de la soufflerie d'un fourneau à courant d'air forcé, en Écosse. Il faut aller jusqu'en 1784 pour rencontrer une machine qui ait agi directement, par l'extrémité libre du balancier, sur le cylindre soufflant. Vers 1794, naquit le *régulateur hydrau-*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

lique, propre à uniformiser la pression de l'air insufflé : de son apparition date l'adoption définitive de la machine à vapeur comme machine soufflante, pour les usines et ateliers à courant d'air forcé.

Malgré toutes les améliorations dont elle avait été l'objet, la machine de Newcomen laissait encore beaucoup à désirer; elle péchait notamment au point de vue de la consommation de houille. Il était réservé à James Watt de réaliser des progrès nouveaux et de créer, dans ses traits essentiels, la machine à vapeur moderne.

3. L'œuvre de James Watt. — Recherchant les causes pour lesquelles les machines de Newcomen consommaient tant de houille, Watt comprit que cette dépense excessive tenait principalement à la condensation dans le cylindre lui-même, qu'une grande quantité de charbon était brûlée en pure perte pour relever périodiquement « le « cylindre, le piston et les parties adjacentes de la température de l'eau « froide à celle de la vapeur ». Il fut conduit de la sorte à imaginer le *condenseur* séparé, perfectionnement capital après lequel les autres se succédèrent rapidement, comme une série de conséquences du premier.

En adoptant le condenseur séparé, Watt avait d'abord essayé la *condensation par surface ;* celle-ci ne réussissant pas, il y substitua l'*injection*. Pour vider le condenseur, il fut amené à se servir d'une *pompe à air,* mise en jeu par le balancier même de la machine; cette pompe débarrassait le condenseur, non seulement de l'eau d'injection et de la vapeur condensée, mais aussi de l'air qui s'y rassemblait et nuisait à la perfection du vide.

Antérieurement on maintenait une couche d'eau par-dessus le piston, pour empêcher les fuites entre ces organes et le cylindre. Il y avait là un procédé barbare, en même temps qu'une cause de refroidissement. Watt assura l'étanchéité du joint entre le piston et le cylindre, au moyen de suif et d'huile.

L'illustre mécanicien découvrit une autre cause de refroidissement et par suite de perte de force, dans ce fait que l'air ambiant avait son entrée libre à la partie supérieure du cylindre et suivait le piston jus-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qu'au bas de sa course. Afin d'y remédier, il ferma le haut du cylindre par un couvercle muni d'une *boîte à étoupe* pour le passage de la tige du piston, suivant un artifice depuis longtemps connu des ouvriers, et fit arriver la vapeur au sommet du cylindre. Il entoura en outre le cylindre d'une enveloppe extérieure ou chemise de vapeur.

Toutes ces inventions sont mentionnées dans un brevet pris par James Watt en 1769.

La création de la *machine à double effet* résultait en quelque sorte des progrès déjà réalisés. Après avoir fermé le haut du cylindre, il ne restait qu'un pas à faire pour permettre à la vapeur d'agir alternativement sur chacune des faces du piston, tandis que la face opposée communiquerait avec le condenseur. Cette modification, qui devait doubler la puissance de la machine, fut proposée par Watt dès 1767; mais la première machine à double effet ne date que de 1781 ou 1782.

Watt eut aussi le mérite de signaler les avantages de l'*expansion* ou *détente* de la vapeur. Il montra qu'en fermant l'admission avant l'arrivée du piston au bas de sa course, on pouvait obtenir du même poids de vapeur un travail total beaucoup plus considérable. C'est particulièrement dans la machine *sans condensation*, déjà décrite au brevet de 1769, qu'il recommandait l'emploi de la détente, si généralement adopté aujourd'hui.

La place me manque pour suivre Watt et son associé Boulton dans toute la série de leurs projets et de leurs travaux, pour relater tous les perfectionnements dont ils dotèrent la machine à vapeur, pour rappeler combien le champ des applications du nouveau moteur s'élargit entre leurs mains. Il me faut cependant insister encore sur quelques faits importants, sur quelques dispositifs choisis parmi les plus ingénieux.

Les anciens modes de liaison entre la tige du piston et le balancier ne pouvaient convenir au cas d'une machine à double effet, destinée à produire une rotation continue : Watt imagina un grand nombre de dispositions, dont la plus belle, en même temps que la plus connue, est le *parallélogramme articulé* (brevet de 1784). Malgré toutes les qualités du parallélogramme, on recourt de préférence aujour-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'hui à la *traverse avec glissières*, également mentionnée au brevet de 1784.

Sous sa nouvelle forme, la machine à vapeur se prêtait à une infinité d'applications auxquelles on n'avait pu songer antérieurement; jusqu'alors enfermée dans le domaine des élévations d'eau, elle allait briser ses liens et devenir le moteur universel. Watt s'en rendait parfaitement compte : en prenant son brevet de 1784, il eut soin de se réserver les usages de la machine à vapeur pour les laminoirs et marteaux de forges, ainsi que pour « les voitures à roues affectées au « transport des personnes, marchandises ou autres objets, d'un point à « un autre ».

Certains travaux exigeant une vitesse bien uniforme, Watt intercala dans le tuyau d'admission une *soupape à gorge* permettant de régler à tout moment et au degré voulu la quantité de vapeur envoyée au cylindre. Puis il imagina d'adapter à la manœuvre de ce registre le *régulateur à boules* (*governor*), depuis longtemps employé pour la régularisation du mouvement des roues hydrauliques et des moulins à vent.

Du jour où l'élévation des eaux n'était plus restée l'objectif unique de la machine à vapeur, il avait fallu chercher les moyens de transformer le mouvement rectiligne et alternatif de la tige du piston en un mouvement continu de rotation. Prévoyant cette nécessité, Papin proposait, dès 1695, de relier le balancier à l'arbre de couche par une crémaillère et une roue dentée à rochet. Le système des roues dentées servit effectivement pendant quelques années, pour transmettre à l'arbre de rotation le mouvement oscillatoire du balancier[1]. Mais, à partir de 1801, toutes les machines construites par Boulton et Watt furent munies d'une *bielle* et d'une *manivelle*[2]. Un *volant* servait à régulariser le mouvement[3].

[1] Système *solaire et planétaire* de Watt (1781), par exemple.

[2] Watt avait, dit-on, proposé dès 1771 d'appliquer aux machines à vapeur la *manivelle coudée* des rouets de fileuse. Cependant Wasborough le devança dans la prise d'un brevet pour cette disposition (1779).

[3] Arago attribue l'invention du volant à Keane Fitzgerald (1758).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Au nombre des inventions utiles de Watt se placent aussi le *manomètre à mercure* servant à mesurer la pression dans la chaudière ou le vide au condenseur, ainsi que le *tube de niveau,* ajouté au robinet de jauge pour rendre apparente la hauteur de l'eau dans le générateur.

N'ayant pu réussir à déterminer le rendement de ses machines par l'évaluation directe du travail produit, Watt chercha à évaluer du moins la puissance développée, en mesurant la pression de la vapeur dans le cylindre pendant les différentes phases de la marche du piston. A cet effet, il créa, avec le concours de son aide Southern, l'*indicateur,* dont le *diagramme* traduit graphiquement toutes les variations successives de la pression.

Citons encore à l'actif de Watt la *machine à fourreau,* puis une *machine rotative* ou *roue à vapeur.*

On voit l'immensité de l'œuvre accomplie par James Watt, la merveilleuse fécondité de son génie. Plus clémente envers lui qu'envers beaucoup d'autres inventeurs, la fortune lui prodigua ses faveurs; il mourut à l'âge de quatre-vingt-quatre ans, chargé de gloire et possesseur d'une brillante fortune. Dès 1785, sa machine était constituée et n'appelait plus que des améliorations relativement secondaires de forme et de proportions; l'industrie avait à sa disposition le puissant et admirable instrument qui allait la bouleverser si profondément. L'illustre mécanicien anglais ne laissait le champ ouvert qu'à des progrès plus lents, qu'au développement successif de ses idées fondamentales.

4. Les contemporains de Watt. — Les contemporains de Watt ont été si complètement éclipsés dans le rayonnement du maître que les biographes et les historiens se sont montrés fort peu prodigues d'indications sur leur vie et leurs travaux. Quelques-uns furent pourtant des ingénieurs ou des constructeurs d'un grand mérite.

William Murdoch, qui a été pendant de longues années le collaborateur de Watt, inventa en 1785 la *machine à vapeur oscillante* et créa ensuite une machine rotative (1799). On lui doit le *tiroir* de distribution glissant en *D* (1799). Quant au *tiroir en coquille* actuel,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

il paraît dû à Murray, qui eut également l'idée de la transmission par excentrique.

Un des rivaux les plus actifs de Watt fut Jonathan Hornblower, breveté en 1781 pour la *machine composée* (*compound*) ou à double cylindre; après avoir exercé son action dans le premier cylindre, la vapeur agissait par expansion dans un second cylindre de plus grandes dimensions, puis allait au condenseur. Cette machine ne donna pas les résultats attendus; mais d'autres contemporains de Watt reprirent, en le modifiant, le système de Hornblower, et, avec l'usage des hautes pressions, la machine compound devint un type bien défini et justement apprécié.

Vers la même époque, William Bull et Richard Trevithick imaginèrent une forme particulière de machine d'épuisement sans balancier, ou *machine de Cornouailles de Bull*, qui n'a pas cessé d'être en usage.

Il convient encore de mentionner le nom du révérend Edward Cartwright (l'inventeur du métier mécanique), à qui est dû le piston à garniture métallique.

5. Progrès généraux réalisés pendant la première moitié du XIX^e^ siècle. — Le commencement du XIX^e^ siècle trouva la machine à vapeur en possession de ses organes essentiels et prêtant déjà un large concours au travail industriel. Toutes les formes importantes de machines étaient inventées. Watt avait perfectionné, avec l'aide de Murdoch, la machine d'épuisement ainsi que la machine d'atelier; il avait imaginé la machine à fourreau, tandis que Murdoch créait la machine oscillante et le *tiroir glissant;* il avait fait un modèle de locomotive, pendant que Hornblower produisait la machine à deux cylindres. Les diverses tentatives d'emploi de la vapeur pour la navigation, bien que n'ayant pas abouti, permettaient d'entrevoir le succès final. De grands ateliers de construction allaient surgir, par suite de l'expiration des brevets grâce auxquels la maison Boulton et Watt venait d'accaparer pendant un quart de siècle la fourniture des machines à vapeur.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

A partir de ce moment, l'histoire de la machine se confond dans une large mesure avec celle de ses applications : l'élévation de l'eau, l'exploitation des mines, la métallurgie, la mise en mouvement de l'outillage industriel, les transports par voie de terre ou par voie d'eau, etc. On trouvera dans d'autres parties de ce rapport des indications sur les usages de la vapeur, en ce qui concerne les industries spéciales où le moteur ne peut être détaché de l'outil qu'il actionne. Nous nous bornerons ici à envisager la machine à vapeur, en nous plaçant à un point de vue plus général et en faisant autant que possible abstraction de l'organe récepteur.

Deux faits caractéristiques se sont accentués à partir du commencement de ce siècle : l'augmentation graduelle des pressions et celle de la détente. En même temps s'est manifestée une tendance à supprimer le balancier, à adopter la *connexion directe*, à simplifier et à ramasser les formes des machines.

Au temps de Watt, les pressions les plus habituelles ne dépassaient que fort peu la pression atmosphérique. C'est d'ailleurs le propre des machines à condensation de ne point exiger des pressions notablement supérieures à celle de l'atmosphère. Mais elles nécessitent une abondante quantité d'eau froide, inconvénient fort appréciable en certains cas, vice absolument rédhibitoire pour les machines locomotives. Afin de se soustraire à la condensation de la vapeur, on a dû recourir aux machines à *haute pression*.

Le premier projet d'une machine sans condensation qui pût être réellement de quelque utilité pratique se rencontre dans le *Theatrum machinarum* de l'Allemand Leupold (publié vers 1725); suivant l'auteur, ce système aurait été proposé par Papin. Dans son brevet de 1769, Watt s'était réservé le droit, « pour le cas où l'eau froide « serait rare, de faire marcher les machines à l'aide de la seule vapeur, « laquelle pourrait s'échapper dans l'air après qu'elle aurait produit « son effet »; mais il ne paraît pas qu'aucun moteur de cette espèce soit jamais sorti de ses ateliers. L'Américain Oliver Evans sut appliquer avec succès les principes posés avant lui; vers 1801, il construisit

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

une machine à haute pression et à échappement libre, qui fut utilisée pour le fonctionnement d'un moulin à plâtre; plus tard, il étendit les applications du nouveau type, en perfectionna les détails et prédit l'avenir réservé aux machines sans condensation pour la propulsion des bateaux et des voitures. Au delà de la Manche, Trevithick et Vivian conçurent et firent breveter, de leur côté, en 1802, une machine à haute pression et sans condensation qu'ils appliquèrent non seulement à la traction des véhicules[1], mais au forage des roches, au dragage[2], etc.

Dès lors, la machine à haute pression ne cessa d'être employée. A l'origine, les moteurs de ce genre étaient assez grossièrement établis, mal proportionnés, construits sans précision; leur dépense de combustible atteignait un chiffre fort élevé. Peu à peu, les bons constructeurs arrivèrent à leur donner des proportions heureuses, des formes élégantes et solides; ils y firent usage de matériaux d'excellente qualité, et réduisirent beaucoup les pertes de chaleur et de combustible.

En présence des résultats favorables donnés par les machines à haute pression, on reprit les idées de Hornblower sur la détente successive de la vapeur dans deux cylindres de diamètres différents. Arthur Woolf réalisa avec succès ce mode de *détente par échelons* (1804); il fit revivre la machine créée en 1781 par Hornblower, ses deux cylindres parallèles et juxtaposés, ses deux pistons reliés directement au balancier, mais en admettant la vapeur à plus haute tension; il poussa la détente jusqu'à six ou neuf fois le volume initial : les machines d'épuisement établies d'après ses plans ne consommaient, dit-on, que 1 kilogr. 8 de houille par cheval et par heure, tandis que la consommation des machines de Watt ne descendait guère au-des-

[1] Trevithick construisit la première locomotive en 1804.

[2] Trevithick et Vivian employaient la vapeur à des pressions de 3, 4 et 5 kilogrammes par centimètre carré. Déjà même aux États-Unis, sur les fleuves de l'Ouest en particulier, on était allé jusqu'à 8 et 10 kilogrammes : aussi les explosions prenaient-elles une fréquence alarmante.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sous de 2 kilogr. 5. Le type de Woolf se propagea rapidement; dès 1815, Edwards l'introduisit en France, où il devint pour ainsi dire classique [1]. Aujourd'hui encore la machine de Woolf à balancier, dont le dessin général s'est du reste peu modifié depuis le commencement du siècle, rend les meilleurs services dans les ateliers où l'on recherche une allure régulière, une marche économique et un entretien peu coûteux.

Presque au lendemain de la patente de Woolf, en 1805, Willis Earle proposait une machine à deux cylindres inégaux superposés, avec tige commune pour les deux pistons : reproduite plus tard par Sims, cette disposition fut le point de départ d'un type assez répandu de nos jours et connu sous le nom de *machine tandem*.

Quant aux machines à trois cylindres, elles paraissent avoir été construites pour la première fois par Aitkin et Steel.

Des essais avaient été successivement entrepris par Papin, puis par Cartwright, enfin par Murray (1802), pour supprimer le balancier. Maudslay résolut le problème et fit une machine verticale sans balancier (1807), si séduisante par sa simplicité, sa symétrie et son élégance, qu'il reçut des commandes de toutes les parties du monde.

Suivant la voie ainsi tracée, les constructeurs ne tardèrent pas à asseoir le cylindre à vapeur sur la fondation même et à éliminer la charpente métallique qui, dans le système de Murray et de Maudslay, servait de support au cylindre. Dawes semble avoir exécuté le premier en Angleterre ce type simplifié de machine verticale (1816). Saulnier s'était efforcé de le répandre en France, dès 1812; des perfectionnements y furent ensuite apportés par J.-J. Meyer de Mulhouse, par Imbert et par Bourdon de Paris.

La *machine à cylindre horizontal*, maintenant en possession d'une préférence si marquée, paraît avoir été établie en 1801 par Symmington (le même qui s'occupa de navigation à vapeur). Plus tard, on trouve le cylindre horizontal dans la voiture à vapeur de Brunton

[1] Les machines à deux cylindres ont toujours été beaucoup plus employées comme machines fixes en France qu'en Angleterre.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

(1813), dans la machine à haute pression de Perkins (1823), etc. Son adoption générale fut néanmoins retardée par la crainte de voir le cylindre s'user inégalement. Après 1831, quand Stephenson prit le parti d'adapter exclusivement des cylindres horizontaux à ses locomotives, on reconnut que l'importance des inégalités d'usure avait été exagérée et que d'ailleurs il était possible d'y remédier en prolongeant la tige du piston pour lui faire traverser les deux fonds du cylindre, en allongeant les boîtes à étoupes, en soignant davantage la garniture du piston, etc. La machine horizontale devint, au moins pour certains usages, l'un des types favoris.

Aux divers changements ayant pour objet de simplifier les organes se rattachent les tentatives faites en vue de supprimer la bielle et d'articuler la manivelle sur la tige du piston elle-même. Ce résultat fut obtenu au moyen d'un *cylindre oscillant*, dont les tourillons creux servaient en même temps à l'entrée et à la sortie de la vapeur. Ainsi que je l'ai précédemment rappelé, la machine à cylindre oscillant fut inventée par Murdoch (1785); un Américain, French, paraît y avoir eu recours en 1808, pour la propulsion des navires; toutefois elle ne fut définitivement introduite dans la pratique qu'en 1820 par Cavé, à Paris, et presque simultanément par Manby, au delà de la Manche.

Tandis que s'accomplissaient ces transformations, de grands ateliers de construction (Seraing, le Creusot, etc.) avaient surgi dans différents pays. Les procédés mécaniques se perfectionnaient chaque jour. On arrivait à produire des moteurs susceptibles d'un fonctionnement régulier, à faire des cylindres parfaitement alésés, des pistons bien circulaires, des pièces frottantes convenablement rodées, des organes appropriés aux efforts qu'ils devaient supporter. Les conditions pratiques de marche se rapprochaient de plus en plus des conditions théoriques. Tous ces progrès accomplis par les constructeurs, surtout après la diffusion des machines-outils, ont exercé une énorme influence sur l'abaissement du prix des machines à vapeur et sur le développement de leurs emplois; ils ont aussi facilité singulièrement l'application des découvertes dues aux savants et aux inventeurs.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

6. Progrès généraux réalisés de 1850 à 1878. — Vers le milieu du siècle, la vapeur ne servait pas seulement à actionner l'outillage des usines, à commander des mécanismes fixes de toute sorte; elle constituait, sur terre et sur mer, l'agent propulseur par excellence. Les ingénieurs et le public étaient familiarisés avec ses applications diverses. On connaissait le genre de machine spécialement approprié à chaque usage, et les différents types possédaient déjà plus ou moins exactement la forme et les proportions que nous leur voyons aujourd'hui. Bien que la théorie des machines à vapeur fût incomplète et que les lois thermodynamiques qui les régissent n'eussent pas reçu leur formule définitive, les constructeurs avaient dégagé empiriquement les principes essentiels au succès pratique, reconnu la valeur relative des nombreux modèles, ramené toutes les variantes à quelques types.

Après 1850, la machine à vapeur n'a cessé d'étendre son domaine. L'allure du progrès s'est toutefois modifiée. Il s'agit, non plus de changer les formes originaires, d'ajouter des organes nouveaux, mais d'apporter des perfectionnements graduels aux dispositions, aux proportions, aux arrangements de détail. C'est ce que l'on pourrait appeler « une période de raffinement ». Quoique parcouru pas à pas et par courtes étapes, l'espace franchi n'en est pas moins immense : pour s'en rendre compte, il suffit de comparer, par exemple, les machines de nos grands cuirassés modernes avec les lourdes machines des anciens navires de guerre.

La dernière période de quarante ans se caractérise surtout par la disparition des types les moins aptes à soutenir la lutte contre leurs concurrents, par la « survivance des mieux organisés ». Un trait saillant de l'époque actuelle est en effet la grande uniformité dans le dessin général des moteurs et dans l'agencement de leurs organes. Sauf quelques moteurs de faible puissance destinés à des usages spéciaux, les variétés de machines à vapeur gravitaient, en 1878, autour de deux types bien définis : la *machine à balancier* et la *machine à connexion directe*. La première se présentait comme grande machine fixe de manufacture, avec cylindre vertical au-dessous du balancier; dans la seconde, qui se prête aux travaux de force ainsi qu'aux ouvrages plus

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

délicats, le cylindre était d'ordinaire horizontal, quelquefois vertical et superposé à l'arbre, sous la forme dite *à pilon*.

Jetons un coup d'œil rapide sur les perfectionnements principaux dont ces machines avaient été l'objet.

a. *Pressions. Vitesses de marche.* — L'adoption graduelle des *hautes pressions* et des *larges détentes* est l'un des caractères les plus frappants de la période contemporaine. Watt, employant la vapeur à la pression de 0 kilogr. 670 au maximum, ne brûlait guère moins de 2 kilogr. 500 par cheval et par heure; maintenant les machines de Cornouailles établies sur le même plan général que celles de Watt, mais alimentées par de la vapeur à 3 ou 4 kilogrammes de pression, avec détente au tiers ou au quart, brûlent en moyenne 1 kilogr. 500 de charbon; la machine d'épuisement compound descend même à 0 kilogr. 900.

D'année en année les pressions se sont accrues, au fur et à mesure que progressaient les détails de construction, les moyens de graissage, l'art de faire les joints. Cette marche continue vers des pressions élevées n'aboutit pas seulement à une économie de combustible; elle offre aussi l'avantage de diminuer le poids, l'encombrement de la machine et de sa chaudière. M. Hirsch, rapporteur du jury de 1878, évaluait les pressions ordinairement admises à 4 ou 5 kilogrammes effectifs, pour les machines à condensation; à 6 ou 7 kilogrammes, pour la plupart des machines sans condensation; à 8 ou 10 kilogrammes et même plus, pour certains moteurs demandant par-dessus tout de la puissance et de la légèreté[1].

Les machines à condensation et à pression modérée, généralement en usage sur la terre d'Europe et, dans une certaine mesure, aux

[1] Quelques constructeurs ont adopté des pressions beaucoup plus considérables et certains ingénieurs en ont même essayé d'énormes. Dès 1823, Jacob Perkins commençait des expériences dans cette voie; en 1827, il atteignait 53 kilogrammes dans une machine à cylindre unique; la même année, il faisait une machine de Woolf, avec admission à 93 kilogr. 8 et détente portant l'expansion jusqu'à huit fois le volume primitif. Peu après, le docteur Ernst Alban décrivait un système de construction de chaudières et de machines qui lui permettait d'employer la vapeur à des pressions du même ordre (1843) : en certains cas, il utilisa de la vapeur à 67 kilogrammes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

États-Unis, lorsque l'eau était facile à trouver, tendaient à disparaître devant les machines à haute pression, sans condensation et à détente considérable, dont la machine Corliss représentait le type le plus connu, type fort commun en Amérique et souvent reproduit par les constructeurs européens.

Une progression analogue s'est produite dans les *vitesses de marche*. L'exemple des locomotives et celui des machines marines à hélices ont démontré que l'accroissement de la vitesse n'entraîne nullement une diminution de l'effet utile de la vapeur et que rien, de ce chef, ne vient contre-balancer les avantages de la réduction de prix et d'encombrement des machines. En 1878, on remarquait beaucoup une machine exposée par la Société suisse de Winterthur et marchant à la vitesse, alors exceptionnelle, de 100 à 120 tours.

b. *Détails de construction*. — L'augmentation continuelle de la pression, de la détente et de la vitesse a été accompagnée de progrès notables dans la *construction* des machines : meilleure qualité des matériaux; entente plus parfaite des formes à assigner aux organes et des conditions de leur résistance; exécution plus soignée, due pour une large part à la généralisation et au perfectionnement des machines-outils; précision plus grande dans le montage et l'ajustage; installation plus habile et plus intelligente des machines et des chaudières. Dans les machines horizontales, en particulier, on a cherché à simplifier le bâti et à éviter les difficultés de pose : ainsi s'explique la vogue dont jouissait, en 1878, le bâti américain, dit *à baïonnette*, avec glissières ménagées dans la partie cylindrique, bâti qui se fixe au cylindre par des boulons; ce système, où toute la machine est portée par deux pattes assemblées au palier et au cylindre, présente des avantages de légèreté et de solidité qui lui assurent des applications de plus en plus nombreuses. C'est dans les améliorations de ce genre, fort importantes pour la bonne marche des machines et représentant en définitive le fruit de l'expérience, des études persévérantes d'un grand nombre de praticiens distingués, que résidait peut-être le progrès le plus nettement tangible à la veille de l'Exposition de 1878.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On pratiquait de plus en plus la *condensation* par injection d'eau, à l'état de lames ou de jets lancés avec vitesse. Le condenseur par surface, proposé à diverses reprises pour remplacer le condenseur par injection (Hall, 1830; etc.), n'était en usage sur terre que dans des cas fort rares; il s'appliquait spécialement aux machines marines. Depuis quelques années, les constructeurs ne craignaient plus d'imprimer au piston de la pompe à air des vitesses considérables. Les condenseurs éjecteurs, agissant plus ou moins à la manière de l'injecteur Giffard, avaient donné lieu à quelques essais; mais ces appareils, dont celui de Morton paraît être le plus ancien, étaient encore peu répandus.

c. *Distribution de vapeur.* — La *distribution de la vapeur* soulève des problèmes très délicats. En 1878, les idées semblaient encore loin d'être entièrement fixées sur le jeu de ce fluide élastique, âme de nos moteurs, sur ses propriétés, sur son action dynamique. Ici tout devenait matière à contestation, et la variété des systèmes de distribution mis au jour attestait hautement l'obscurité qui, naguère encore, régnait dans les esprits.

Unanimes à reconnaître l'économie de vapeur assurée par la détente, les mécaniciens et les inventeurs rivalisaient d'efforts pour obtenir un système de distribution permettant de recueillir les inappréciables bienfaits que paraissait promettre la loi de Mariotte. Bien des années se sont en effet écoulées avant que les constructeurs reconnussent l'impossibilité d'atteindre, même approximativement, les résultats indiqués par la théorie, et admissent l'inévitable limitation des avantages de la détente dans la pratique ordinaire. Réduire beaucoup l'admission et prolonger la détente, couper brusquement l'arrivée de vapeur à la fin de l'admission en évitant les *étirages*, diminuer autant que possible les espaces nuisibles, telles étaient jusqu'à ces derniers temps les données maîtresses de la question.

Je ne saurais étudier par le menu les dispositions ingénieuses, autant que diverses, combinées en vue de satisfaire à ces desiderata. Il me suffira de rappeler les principaux systèmes en usage.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'un des modes de distribution les plus répandus est le *tiroir* conduit par une manivelle ou un excentrique circulaire, système d'une extrême simplicité qui date du commencement de ce siècle. Il n'en existe guère d'autres pour les locomotives et les locomobiles, pour les machines marines, pour les machines fixes à marche rapide. Le tiroir se présente sous des formes différentes : tiroirs à double orifice, tiroirs solidaires, tiroirs équilibrés, etc. Au lieu de tiroirs plats, on employait souvent en 1878 des *tiroirs cylindriques*. Parmi les dérivés du tiroir glissant se plaçait le *robinet tournant* à plusieurs voies, proposé par Denis Papin, appliqué par Maudslay à un grand nombre de bons et puissants appareils, et qu'on a vu réapparaître dans les machines les plus modernes (machines Brotherhood).

Pour permettre les changements de marche, les anciennes distributions par tiroirs étaient munies de l'*excentrique à tocs*. Cet excentrique unique, pouvant occuper alternativement deux positions distinctes, fut ensuite remplacé par deux excentriques fixes commandant à tour de rôle le tiroir; l'alternance, obtenue primitivement au moyen de *pieds-de-biche*, l'a été plus tard à l'aide de *coulisses*[1] (Stephenson, Gooch, Allan, etc.), d'un emploi presque universel pour les locomotives, les machines marines, les machines d'extraction et en général toutes les machines dont le mouvement doit être renversé. Il convient de signaler aussi les distributions dites *radiales*, dans lesquelles un seul excentrique conduit la coulisse ou qui n'ont même plus d'excentrique.

Avec les moyens usités pour imprimer au tiroir en coquille son mouvement alternatif, des difficultés s'opposent à ce que la détente prolongée soit obtenue dans de bonnes conditions. On a voulu corriger ce défaut en substituant à l'excentrique circulaire un *excentrique à ondes;* mais, en 1878, ce dispositif n'était encore appliqué que dans des cas particuliers. On avait plutôt recours aux distributions par *tiroirs superposés*, si connues sous le nom de Saulnier (1834), Meyer (1842-1843), Farcot. Le système Farcot a été l'un des premiers qui aient rendu pratique la *détente variable par le régulateur;* antérieure-

[1] L'idée première de la coulisse semble due à William, de Newcastle (1842); en 1843, Howe et Stephenson la perfectionnèrent. C'est de 1843 que date également la coulisse de Gooch.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ment le régulateur agissait sur le *papillon*, c'est-à-dire que la variation de puissance motrice pendant la marche se réalisait par l'étranglement de la vapeur, au grand préjudice du rendement. Un autre procédé très usité consistait dans la détente par *obturation de l'arrivée de vapeur;* souvent l'obturateur recevait la forme d'un *tiroir à jalousie* (machine Wheelock).

Les *obturateurs en forme de glissières* (tiroirs plats, tiroirs tournants, simples ou à jalousie) peuvent être adaptés à tous les dispositifs de lumières; les *obturateurs à soupapes* s'appliquent spécialement au cas où la distribution s'effectue par quatre lumières indépendantes.

En 1878, la *soupape* n'était plus guère usitée que sous la forme de *soupape à double siège*, inventée par Hornblower il y a près d'un siècle et employée depuis fort longtemps dans les machines d'épuisement de Cornouailles. A une époque récente, les frères Sulzer de Winterthur avaient beaucoup perfectionné cet organe et largement étendu son usage.

Aux obturateurs pour lumières indépendantes (tiroirs ou soupapes) on voyait fréquemment appliquer la commande par *excentriques à ondes*, prenant la forme de *manchons à bosse* dans le cas de la détente variable et pouvant être facilement gouvernés par le régulateur. Toutefois ce mode de commande était beaucoup moins usuel que la *commande par déclenchement*, dont une forme fut brevetée au profit de Sickles, vers 1841 : l'inventeur appliquait son système à des soupapes de Cornouailles; George Corliss en combina les éléments avec le distributeur tournant de Maudslay et y adapta la commande par le régulateur à force centrifuge (1849). A l'Exposition de 1867, on remarqua beaucoup une machine Corliss admirablement exécutée; il en fut de même d'une machine à distribution par déclenchement, qu'exposaient MM. Sulzer, de Winterthur. En quelques années, les machines à déclenchement supplantèrent un grand nombre d'autres machines et se répandirent rapidement en France, ainsi que dans les autres pays; la période comprise entre les deux expositions de 1867 et de 1878 fut véritablement caractérisée par cette invasion, dans la mécanique, des distributions américaines.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pendant la même période, il se produisit un ensemble de faits d'un ordre différent, mais d'une importance comparable : je fais allusion à l'étude plus complète, plus intime, plus précise, des phénomènes dynamiques et thermiques dont la machine à vapeur est le siège. Le mérite de cette étude, à la fois théorique et expérimentale, revient pour la plus large part à G.-A. Hirn et à ses collaborateurs de la Société industrielle de Mulhouse. Elle mit en lumière des phénomènes entrevus par Combes (1843) et par l'amiral Pâris, mais restés depuis dans l'ombre, notamment la présence d'eau à l'état liquide sur les parois du cylindre : au moment de l'admission, l'eau ainsi déposée condense de la vapeur, qui se dégage lors de l'échappement et va au condenseur sans avoir produit de travail utile ou tout au moins sans avoir fourni un travail notable pendant la détente. Les choses se passent donc dans des conditions beaucoup plus complexes qu'on ne l'avait supposé jusqu'alors; la question de distribution ne se réduit pas tout entière aux termes dans lesquels elle avait été posée; l'influence des espaces nuisibles et des étirages de vapeur est bien moindre, en définitive, que celle des autres causes de perte résultant de l'action refroidissante des parois.

La théorie nouvelle a rendu compte, dans une certaine mesure, des avantages procurés par l'*enveloppe de vapeur* et par la *détente à échelons*. En imaginant l'enveloppe de vapeur, Watt avait eu comme une intuition de son rôle : aujourd'hui on apprécie mieux la fonction de cette enveloppe, qui consiste à échauffer le cylindre, à en sécher les parois intérieures et à atténuer ainsi des condensations profondément nuisibles à une marche économique. La nécessité bien comprise d'avoir de la vapeur sèche et d'éviter les pertes de chaleur par conductibilité et par rayonnement a vulgarisé l'emploi des chemises de vapeur, sans lesquelles il serait inutile de réaliser les détentes prononcées dans un seul cylindre. Mentionnons, dans le même ordre d'idées, l'usage de la vapeur surchauffée, apportant avec elle un supplément de calorique : la surchauffe a été assez fréquemment appliquée, surtout à la mer; mais des considérations pratiques ont conduit à y renoncer.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Quant à l'économie qu'assure la détente par échelons, dans plusieurs cylindres, les expériences de Mulhouse lui donnent aussi une explication satisfaisante : le petit cylindre n'étant jamais en communication avec le condenseur, les condensations et vaporisations successives ont bien moins d'importance qu'avec le cylindre unique des machines ordinaires. En 1878, on constatait le développement considérable et l'extension aux machines horizontales de ce système de détente, à peine pratiqué jusqu'alors dans les machines fixes autres que les machines à balancier.

Comme nous l'avons vu, l'application de la détente par échelons aux machines fixes à balancier date de 1781 et a été imaginée par Hornblower. Plus tard les bons résultats que fournit la machine à double cylindre de Woolf lui permirent de se répandre assez rapidement. De nos jours, cette machine rend encore d'utiles services.

Tandis que, dans le système Woolf ou ses dérivés, la vapeur, après avoir agi sur le petit piston, se rend directement au grand cylindre, par des passages aussi courts que possible, il est un autre mode plus récent de détente en cylindres successifs, dit *système compound*, dans lequel la vapeur échappée du petit cylindre s'écoule vers un réservoir intermédiaire où vient puiser la distribution du grand cylindre. Ce système paraît avoir été inventé, il y a plus de cinquante-cinq ans, par le constructeur hollandais Roëntgen[1]. Ses applications furent peu nombreuses jusqu'en 1860; à partir de cette époque, elles se multiplièrent grâce à Benjamin Normand, qui eut une part prépondérante dans l'adoption définitive des machines compound pour la navigation. Naguère encore, à égalité de puissance, la plupart des moteurs fixes consommaient plus de houille que la machine à deux cylindres accolés de la marine, malgré les conditions émi-

[1] La maison A. Kœchlin a formé en 1834 une demande de brevet d'importation pour une machine expansive à deux cylindres indépendants et combinés, dont la description comprend absolument tout ce qui constitue la machine compound actuelle. En 1834 également, E. Wolff a présenté à l'administration anglaise une demande de patente pour la même invention.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nemment défectueuses dans lesquelles travaillent les appareils à bord des navires : aussi le type compound s'est-il étendu aux machines terrestres; dès 1878, on le voyait largement appliqué aux machines horizontales.

Dans les machines compound, les deux cylindres sont généralement placés côte à côte et attaquent deux manivelles à angle droit ou presque droit, afin de régulariser la marche et de réduire le poids du volant. Quelquefois on place les deux cylindres en prolongement l'un de l'autre : c'est le type *tandem*.

La détente par échelons peut être poussée au delà de la conjugaison de deux cylindres. Dans la marine notamment, les machines compound ordinaires paraissent céder la place aux *machines à triple expansion*. L'idée de cette extension du principe n'est pas récente, car Perkins, l'apôtre des hautes pressions, l'avait depuis longtemps formulée; il est même certain que plusieurs filatures anglaises ont fait construire, en 1866 et 1870, des moteurs à triple expansion. Chez nous, le premier emploi de ces machines pour la navigation a été fait par Benjamin Normand.

On est encore allé plus loin dans la même voie et on a établi des *machines à quadruple expansion*.

Il n'est pour ainsi dire pas de travaux auxquels la vapeur n'apporte son concours. En dehors de son rôle pour le fonctionnement des grandes usines, pour l'exploitation des mines, pour la métallurgie, pour la traction sur les voies ferrées et la propulsion sur la mer ou sur les fleuves, on la voit tirer la charrue, battre le blé, faire du mortier, élever des pierres, souffler le feu, pomper l'eau, etc. Parmi ces adaptations de la vapeur aux divers besoins de l'homme, beaucoup trouvent leur place naturelle dans d'autres chapitres. D'autres, au contraire, ne comportant point ailleurs une étude spéciale, doivent être examinées ici : c'est cet examen sommaire que nous allons entreprendre.

7. Quelques mots des machines mi-fixes, locomobiles et diverses

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

jusqu'en 1878. — Quand le travail à développer n'est pas très considérable, les dépenses de combustible ne sont le plus souvent qu'une assez faible fraction du prix de revient de la force motrice : les intérêts et l'amortissement de la machine, de la chaudière et des bâtiments, l'entretien, le graissage, le personnel, etc., forment un total supérieur au prix du charbon. En pareil cas, la *machine mi-fixe*, comprenant une machine et un générateur de petites dimensions réunis sur la même base, peut rendre d'utiles services : elle occupe peu de place, n'exige pas de fondations ou du moins ne demande que des fondations légères, s'installe facilement; un seul ouvrier suffit à conduire tout l'appareil; l'ensemble se déplace sans frais notables, avantage fort sérieux, surtout de nos jours, alors que les industries se transforment fréquemment et entreprennent les travaux les plus variés.

S'il s'agit non plus d'une installation d'usine, mais de travaux dont la durée sur le même point ne doit pas excéder quelques heures ou quelques semaines, la machine mi-fixe est montée sur roues et devient la *locomobile*. On la déplace ordinairement à l'aide de chevaux; quelquefois elle est rendue automotrice, grâce à un mécanisme de connexion qui relie le moteur aux roues d'arrière. Les circonstances dans lesquelles il faut avoir recours aux locomobiles présentent une infinie variété et sont bien connues. Ce sont ces machines nomades qui fournissent la force motrice aux chantiers de travaux publics ou privés pour les épuisements, le battage des pilots, la confection des mortiers, l'élévation des matériaux; dans les grandes villes, elles apportent un concours incessant aux entrepreneurs d'édifices ou de maisons particulières. Leur champ d'action s'est étendu aux exploitations agricoles, a peu à peu englobé le village, la ferme, le terrain de culture, où elles portent non seulement la puissance mécanique, mais aussi les notions et le goût de la science. Dès avant James Watt, l'idée de transformer la machine à vapeur en un outil mobile avait été émise par Smeaton, le célèbre ingénieur du phare d'Eddystone; toutefois cette idée n'a pris corps et n'a revêtu une forme pratique que de nos jours. Suivant l'expression de M. Hirsch, la locomobile moderne est fille de la loco-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

motive : comme le puissant engin des chemins de fer, elle doit ses propriétés essentielles à la légèreté de son mécanisme et de son générateur; elle se caractérise de même par une marche rapide à haute pression et par une chaudière tubulaire avec tirage activé au moyen de la vapeur d'échappement.

Toutes les expositions universelles, depuis celle de 1855, ont réuni un grand nombre de machines mi-fixes et surtout de locomobiles : je ne puis, à cet égard, que renvoyer aux rapports des jurys.

Il y a longtemps déjà que l'on s'efforce de substituer la puissance mécanique à celle des moteurs animés, même pour les très petites forces. Répartir la force motrice, la mettre sous la main de l'ouvrier en chambre, faire de la machine à vapeur un outil domestique, est un problème des plus intéressants.

Sans apporter une solution complète de ce problème, l'Exposition de 1878 témoignait cependant de tentatives très sérieuses. Les petits moteurs figurant à cette exposition étaient basés sur les mêmes principes que les machines ordinaires et ne s'en distinguaient que par l'extrême simplicité des organes.

En général, les machines à vapeur peuvent s'adapter avec avantage aux industries les plus diverses. Il en est néanmoins qui forment avec l'outil un ensemble, pour ainsi dire, indécomposable : quelques-unes d'entre elles, les pompes à vapeur, par exemple, sont rattachées par le règlement à la classe de la mécanique générale et doivent, dès lors, être examinées dans ce chapitre, tant au point de vue de leur structure qu'au point de vue de leur affectation.

Nous avons vu précédemment que les premières machines à vapeur ayant revêtu un caractère pratique étaient destinées à l'élévation des eaux. Ce furent d'abord la machine sans piston de Savery, puis la machine de Newcomen, qui, après une suite de progrès successifs, finit par s'incarner dans un type remarquable, encore en usage de nos jours, la *machine de Cornouailles*. L'un des principaux mérites de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cette dernière machine est d'assurer une économie de combustible qu'on n'est guère parvenu à surpasser jusqu'ici.

La machine de Cornouailles est surtout employée pour l'asséchement des mines. Elle a servi également à l'alimentation des villes : des applications assez récentes de ce genre en ont même été faites par les Anglais. Mais, en 1878, on préférait les machines motrices avec arbre de couche et volant, et parfois les machines à commande directe sans arbre de couche.

De ces deux systèmes, le premier, celui de la *pompe à vapeur avec arbre de couche,* se rencontrait à tous les degrés de grandeur, depuis les plus forts modèles pour l'alimentation en eau des villes jusqu'au *petit cheval alimentaire* des chaudières à vapeur. La machine motrice à rotation ne présentait pas de dispositions spéciales résultant du service des pompes; celles-ci étaient, en général, commandées directement par une contretige du piston à vapeur. On s'accordait à considérer l'introduction de l'arbre de couche et du volant comme ayant apporté, dans le fonctionnement des appareils, une sécurité, une régularité, que n'offraient pas au même degré les machines de Cornouailles et comme ayant, en outre, facilité la commande des organes de distribution [1].

Quant aux machines du second système, elles n'ont ni bielle, ni arbre, ni volant; le piston à vapeur pousse directement celui de la pompe [2]. Souvent employées sous de faibles dimensions, notamment comme pompes alimentaires, elles offraient en 1878 une grande variété de types, différant dans les détails, mais présentant tous le trait caractéristique de posséder une distribution et un piston auxiliaires; les deux groupes de pistons et de distributions se commandaient réciproquement. Quelquefois les pompes sans volant recevaient

[1] C'est vers 1840 qu'on a commencé, dans la Grande-Bretagne, à employer des machines à rotation pour l'alimentation en eau des villes.

[2] Les premières pompes sans volant paraissent avoir été imaginées en Amérique par Maxwell et Cope (vers 1868) et par Scott Cameron (brevet de 1869). La maison Tangye frères, de Birmingham, et la maison Hayward, Tyler and C°, de Londres, ont puissamment contribué à les répandre et à les perfectionner. Ces pompes ont rendu de grands services, comme appareils souterrains, pour l'épuisement des mines.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des dimensions considérables et servaient à élever l'eau dans des conditions où jadis la machine de Cornouailles était seule jugée applicable : en ce cas, elles ont l'inconvénient d'une énorme dépense de vapeur, défaut corrigé dans quelques appareils, notamment dans la pompe Worthington.

Pour les petites pompes, la question d'économie de vapeur est généralement secondaire; ce qu'on leur demande, c'est d'être simples et de garantir une sécurité complète de marche. Les constructeurs, après avoir éliminé l'arbre de couche et le volant, en sont venus à supprimer le piston lui-même. Cette simplification extrême, cette absence de tout organe mobile exposé aux dérangements, ont fait le très grand et très légitime succès des *injecteurs Giffard*, pour l'alimentation des chaudières. Dans le même ordre d'idées, j'ai déjà mentionné les *bouteilles alimentaires*, qui sont de véritables pompes à vapeur. Enfin la machine primitive de Savery s'est réveillée après un sommeil de deux siècles; le *pulsomètre* de Hall (1872) l'a fait revivre, pour ainsi dire, telle qu'elle était à l'origine, sauf un léger perfectionnement qui devait en assurer la vogue : la distribution automatique assurée par un simple clapet. Le pulsomètre a reçu des applications multiples; on en a établi des types assez nombreux.

Les *pompes à incendie à vapeur* sont une des plus récentes applications de la vapeur, en même temps qu'une création essentiellement américaine. Malgré des tentatives antérieures, la réussite définitive de ces engins date seulement des trente dernières années.

Dès 1830, Braithwaite et Ericsson, de Londres, construisirent une machine munie d'un cylindre à vapeur qui actionnait une pompe : l'appareil était en état de fonctionnement vingt minutes après l'allumage des feux. Ensuite vint la pompe à incendie à vapeur construite par Hodge aux États-Unis (1841) : elle avait le défaut d'être beaucoup trop lourde. Vers 1860, MM. Latta, de Cincinnati, réussirent enfin à construire des machines à la fois légères et puissantes, et le corps des pompiers de cette ville fut le premier à adopter définitivement la pompe à vapeur comme moyen d'action principal.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En 1878, on constatait déjà le remplacement des anciennes pompes à main par la pompe à vapeur dans presque toutes les villes importantes. Les types américains, avec leur chaudière très légère à haute pression et à grande surface de chauffe, avec leur machine et leur pompe à mouvement alternatif, ont servi de modèles, aussi bien pour la disposition d'ensemble que pour l'agencement des détails. Partout les constructeurs ont su réaliser des appareils très mobiles, doués d'une merveilleuse rapidité de vaporisation.

Une classe de machines qui semble bien abandonnée aujourd'hui, sans être d'ailleurs sérieusement entrée dans la pratique, est celle des *machines rotatives*. Dès 1769, James Watt proposait une machine rotative constituée par un récipient en forme d'anneau creux ou canal circulaire, dans lequel devaient se mouvoir des pistons. Parmi les machines construites sur ce principe, rappelons celles de Yule (1836), de Lamb (1842), de Behrens (1847) : cette dernière est encore en usage comme petit cheval alimentaire, pour les chaudières marines. Beaucoup d'autres ont été proposées plus récemment, surtout depuis l'application générale de l'hélice à la propulsion des navires.

Le système présente, en effet, quelque chose de séduisant : l'organe pressé par la vapeur y prend un mouvement de rotation et le communique sans intermédiaire à l'arbre de couche. Mais la machine rotative comporte des pièces frottantes difficiles à ajuster et à maintenir en bon état; jusqu'ici, l'impossibilité presque absolue de tenir étanche le joint de vapeur entre les parties fixes et les parties mobiles a été un obstacle à peu près insurmontable. D'exposition en exposition, les machines de cette espèce sont devenues de plus en plus rares; les galeries de 1878 n'en contenaient qu'un petit nombre de spécimens.

Certaines machines conservant le piston et le cylindre des machines usuelles peuvent, d'ailleurs, remplir la fonction assignée aux machines rotatives et se prêtent à la commande directe, sans courroie ni engrenage, des outils à rotation rapide, tels que pompes centrifuges, ven-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tilateurs, scies circulaires, essoreuses, etc. Déjà l'Exposition de 1878 présentait des exemples d'outils de ce genre actionnés par de petites machines à vapeur ayant la forme ordinaire et auxquelles, grâce à quelques précautions particulières, on avait pu imprimer des vitesses de 500 tours à la minute, 1,000 tours ou même davantage.

Parmi ces moteurs à grande vitesse, il faut citer spécialement la machine à trois cylindres et à simple effet de Brotherhood, qui fonctionne régulièrement à 1,500 tours et au delà. Son succès a fait surgir plusieurs autres moteurs combinés d'après les mêmes idées.

Les *servo-moteurs* sont fréquemment utilisés pour la commande du changement de marche des grandes machines (marine, laminoirs reversibles, moteurs d'extraction, etc.), pour la manœuvre du gouvernail des navires, des canons avec leur tourelle, en un mot de tous les engins dont le déplacement exige une précision parfaite, beaucoup de promptitude et de très grands efforts. Ils peuvent consister essentiellement en un piston avec simple déplacement rectiligne ou en une machine à mouvement de rotation. Travaillant toujours à pleine pression sans détente, ces appareils reçoivent leur force de l'eau en charge aussi bien que de la vapeur. Ils étaient représentés par quelques spécimens à l'Exposition de 1878.

Mentionnons enfin, sans nous y arrêter, les *machines à réaction*, qui, essayées autrefois sans succès, ont été reprises et assez bien étudiées pour recevoir certaines applications.

8. Les machines à vapeur à l'Exposition de 1889. — En examinant les machines exposées au Champ de Mars, on était frappé tout d'abord de l'abandon relatif du type à balancier, auquel sa marche sûre et régulière a pendant si longtemps assuré la prépondérance dans les grandes manufactures. Ce type n'était représenté que par deux spécimens.

La machine horizontale à un cylindre présente des avantages de simplicité qui continuent à la faire fréquemment employer comme machine de puissance moyenne.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Mais, à en juger par l'Exposition de 1889, la machine compound horizontale à deux cylindres attaquant deux manivelles à angle droit calées aux extrémités d'un arbre unique, avec distribution de vapeur par mécanismes à déclic, semble être le type favori du grand moteur d'atelier. Son extension constitue l'un des faits les plus saillants à signaler dans la construction des machines.

Un second fait caractéristique est l'usage de la détente dans trois cylindres successifs pour les moteurs de l'industrie. En 1878, la compound était d'un usage général dans la marine et commençait à se répandre pour les machines fixes; en 1889, on voit de même la triple expansion, couramment utilisée sur mer, apparaître également sur terre.

Pour répondre aux besoins des usines génératrices d'électricité, qui se multiplient chaque jour, les grandes machines lentes conviennent rarement : elles sont mal appropriées aux grandes vitesses que doivent avoir les dynamos; en outre, les emplacements disponibles ne suffiraient pas toujours à leur installation. De là est née la nécessité d'avoir des moteurs puissants à rotation rapide.

Les machines puissantes faisant de 100 à 200 tours et même davantage sont communes aujourd'hui : on les emploie soit pour l'éclairage électrique, soit pour la mise en jeu des outils d'atelier. Ces machines peuvent être horizontales et à un cylindre; elles se rattachent fréquemment aussi au type compound à deux cylindres en tandem, ou avec arbre à deux coudes. Une forme souvent adoptée est celle de la machine-pilon, imitée des appareils marins, dont plusieurs modèles figuraient à l'Exposition de 1889 (compound-pilon des établissements Cail, de la Compagnie de Fives-Lille, de Farcot; machines-pilons à triple expansion des frères Sulzer, de Weyher et Richemond; etc.).

Il n'existe pour ainsi dire pas de limites à l'augmentation du nombre de tours, surtout quand les moteurs doivent commander directement des machines électriques; on arrive à 600 ou 700 tours par minute. Les moteurs très rapides ont l'avantage d'être petits et par suite peu

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

coûteux pour des puissances même considérables; l'influence des parois, qui augmente la consommation, y est moindre. Mais la bonne construction de ces machines soulève des difficultés sérieuses d'ordre mécanique. Grâce aux efforts des ingénieurs, les obstacles s'aplanissent de jour en jour. Une des conséquences dues aux grandes vitesses a été notamment d'amener le graissage à un haut degré de perfection.

Beaucoup de machines à très grande vitesse ne diffèrent pas essentiellement des machines ordinaires à vitesse moyenne (200 tours au plus); elles sont à double effet, horizontales ou mieux verticales-pilons, à un ou deux cylindres et souvent alors compound; mais, quand le nombre de tours est considérable, le piston n'a qu'une faible course et dès lors qu'une vitesse contenue dans des limites relativement étroites. La distribution s'y fait souvent par tiroir cylindrique, un excentrique à calage variable commandé par le régulateur faisant varier le degré d'admission. On peut citer, parmi les machines horizontales rapides, la *straight line engine*, la machine Armington et Sims, et, parmi les machines-pilons, celles de Boulet, de la Société d'Oerlikon, de Lecouteux et Garnier, de Mégy, de Sautter-Lemonnier, de Bréguet.

L'interversion périodique des efforts du piston expose aux chocs les machines à double effet, par suite du jeu des articulations. Cet inconvénient est évité dans les machines rapides à simple effet telles que celles de Westinghouse à deux cylindres, celles de Willans et de Brotherbrood à trois cylindres, celles de Dodd, de Newall, de Bürgin, de Brown.

Il ne sera pas hors de propos de signaler ici les régulateurs à force centrifuge placés dans le volant, qui sont d'un usage aujourd'hui assez répandu[1].

Enfin je ne saurais quitter le sujet des machines à action très rapide sans mentionner la turbine à vapeur de Parsons, qui était exposée en 1889 et avec laquelle on a dépassé 10,000 tours par

[1] Le premier brevet relatif à ce type de régulateur a été pris par Hartwell et date de 1870. Dès 1876, l'appareil se répandait en Amérique; la France ne l'a admis que plus tard.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

minute, atteint même le chiffre de 18,000 tours. Cet appareil et ses similaires servent exclusivement à produire de l'électricité au moyen d'une dynamo montée sur le même arbre.

Depuis 1878, les pressions se sont encore élevées, grâce aux progrès obtenus dans la construction des chaudières, et surtout dans la confection des joints.

Les machines fixes sont établies pour marcher en général à une pression voisine de 7 kilogrammes et parfois à une pression plus forte, allant jusqu'à 12 kilogrammes (machines Biétrix). Dans les locomotives et les torpilleurs, ce dernier chiffre est souvent dépassé.

C'est peut-être dans l'exécution que se révèle le progrès le plus marquant. La précision, qui était naguère l'apanage de quelques ateliers seulement, est devenue commune à tous les bons constructeurs; les pièces de machine s'établissent souvent au vingtième et même au cinquantième de millimètre.

Au lieu d'entraîner des dépenses excessives, cette extrême précision procure en définitive une économie, en supprimant tout travail d'ajustage, lors du montage. Les procédés mécaniques, qui sont propres à fournir ainsi une rigueur presque absolue et qui ont donné de si brillants résultats pour les machines à coudre, pour les fusils, pour les pistolets, en un mot pour les objets reproduits en grande quantité sur le même modèle, s'appliquent de plus en plus aux appareils de grandes dimensions, aux locomotives, aux moteurs fixes, quand on peut construire un nombre suffisant d'exemplaires. Ces procédés ont le mérite de faciliter, non seulement le montage, mais aussi le remplacement des pièces usées.

9. Statistique. — Le tableau suivant, dressé d'après les statistiques du Ministère des travaux publics, montre quel a été le développement progressif des appareils à vapeur en France depuis 1840.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ANNÉES.	LOCOMOTIVES.		MACHINES DE BATEAUX (1).		MACHINES D'INDUSTRIES (2) DIVERSES.		TOTAUX.	
	Nombre.	Puissance.	Nombre.	Puissance.	Nombre.	Puissance.	Nombre.	Puissance.
		chev.-vap.		chev.-vap.		chev.-vap.		chev.-vap.
1840.....	142	14,200	263	11,422	2,591	34,350	2,996	59,972
1850.....	973	97,300	537	22,421	5,322	66,642	6,832	186,363
1860.....	3,101	310,100	681	36,690	14,936	180,554	18,718	527,344
1870.....	4,835	483,500	973	59,573	27,958	341,443	33,761	884,516
1880.....	7,289	2,495,251	2,072	292,347	43,182	544,152	52,543	3,341,973
1885.....	9,155	3,289,623	1,907	505,201	55,455	734,155	66,517	4,528,979
1890.....	9,909	3,656,577	1,606	599,664	64,234	919,755	75,749	5,175,996

(1) Non compris les bâtiments de la marine militaire.
(2) Y compris les machines fixes employées dans l'industrie des chemins de fer et les appareils auxiliaires en service sur les bâtiments et bateaux.

En dehors des chemins de fer et de la marine, l'ensemble des machines de France représentait, en 1890, une puissance totale de 863,000 chevaux, dont 173,000 pour la filature et le tissage, 167,600 pour la métallurgie, 130,300 pour les mines et carrières, 106,200 pour les industries alimentaires, 91,400 pour les entreprises de travaux, 88,900 pour l'agriculture, etc.

Malgré le développement des machines à vapeur, le nombre des accidents tend à décroître. Pendant la période 1873-1880, la statistique de l'industrie minérale avait enregistré une moyenne annuelle de 36 tués et 42 blessés; durant la période 1881-1890, ces chiffres sont descendus à 31 tués et 26 blessés. Il y a là un résultat fort intéressant, dû principalement aux progrès de la construction, ainsi qu'à la surveillance combinée de l'État et des associations de propriétaires d'appareils à vapeur.

§ 2. Générateurs de vapeur.

1. Généralités sur les chaudières. — La vapeur nécessaire aux machines leur est fournie par des chaudières de formes extrêmement variées. Cette diversité de types se justifie par la diversité des conditions auxquelles doivent répondre les générateurs dans chaque espèce.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Parmi les éléments caractéristiques des chaudières, il en est un qui a une importance capitale : le volume du réservoir d'eau. Ce réservoir constitue un véritable magasin de force motrice, destiné à pourvoir aux irrégularités dans la combustion et dans la dépense de vapeur. Le poids de l'eau contenue est considérable dans les générateurs fixes devant donner un travail soutenu et de longue durée. On le réduit au contraire beaucoup, pour les chaudières des pompes à incendie, des chaloupes à vapeur, etc., qui doivent être mises rapidement en pression.

Mais d'autres éléments entrent aussi en ligne de compte dans le choix des générateurs et acquièrent parfois une influence prépondérante. Telles sont les considérations d'emplacement et de légèreté, pour les chaudières marines et les locomotives, par exemple; telles sont aussi les questions relatives au prix d'achat dans ses rapports avec les hautes pressions que l'on met en jeu, à l'étendue des garanties contre les explosions, à la nature de l'eau d'alimentation et du combustible, aux facilités de nettoyage, à l'instruction et à l'habileté des chauffeurs, etc.

En même temps que se modifiait et se développait la machine à vapeur, les dispositions des chaudières ont subi des changements tout aussi remarquables.

Au début, la vapeur agissait dans le récipient même où elle était produite. Plus tard, le générateur fut séparé de la machine et organisé spécialement en vue des fonctions particulières qu'il avait à remplir. De ce jour ont commencé les transformations et la multiplication des types.

Primitivement, les inventeurs, recourant à de hautes pressions, donnaient à leurs chaudières des formes à peu près sphériques, ellipsoïdales ou cylindriques : les générateurs de Salomon de Caus (1615) et du marquis de Worcester (1663) étaient l'un sphérique, l'autre cylindrique; ceux de Savery (1698), cylindriques ou ellipsoïdaux. Quand l'invention de la machine de Newcomen eut abaissé la pression, les générateurs prirent des formes irrégulières, jusqu'à ce

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qu'un retour à des pressions plus élevées, vers le commencement de ce siècle, obligeât à accroître la solidité des appareils et par suite à revenir aux formes régulières.

Le métal dont on se servit d'abord fut souvent la fonte ou le cuivre; puis on est passé au fer forgé et à l'acier.

Au premier rang des progrès réalisés dans la construction des chaudières se place l'entente plus parfaite des dispositions, du choix et de la mise en œuvre des matières. L'amélioration de la chaudronnerie est d'ailleurs intimement liée à celle de la métallurgie et en a suivi les évolutions successives. Nous avons aujourd'hui d'excellentes tôles de fer au combustible minéral, qui ne le cèdent en rien aux anciennes tôles au bois; la pratique des essais méthodiques et précis sur les métaux prend constamment plus d'extension; elle a conduit les forges à livrer des produits qui présentent toujours exactement les qualités requises pour l'usage auquel ces produits sont destinés[1]. La fabrication des pièces embouties s'est considérablement perfectionnée; on a imaginé, dans certains cas, de donner aux parois planes ou convexes la rigidité nécessaire en les constituant au moyen de tôles ondulées. De grands progrès ont été réalisés dans la rivure; on a même essayé de remplacer la couture par la soudure : l'Exposition de 1878 comprenait plusieurs spécimens fort intéressants des applications de cette méthode.

Comme je l'indiquais précédemment, l'acier a étendu son domaine sur les chaudières. Un générateur en acier figurait déjà à l'Exposition universelle de 1855. Toutefois ce métal n'est employé d'une manière un peu courante que depuis 1861 ou 1862; des explosions survenues au début ont jeté pendant longtemps la défaveur sur son utilisation pour les chaudières à vapeur. Les résultats satisfaisants obtenus à l'étranger par diverses compagnies de chemins de fer et les savantes études de la marine française devaient inévitablement détruire cet ostracisme. Peu à peu les constructeurs se sont enhardis; maintenant l'acier entre largement dans les chaudières marines, et d'excellents

[1] En présence de ces progrès, le Gouvernement a cessé, depuis 1865, de régler l'épaisseur des tôles dans les corps cylindriques pressés du dedans vers le dehors.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

constructeurs de tous les pays l'appliquent également aux chaudières fixes et aux chaudières de locomotives.

La théorie de la production de la vapeur s'est complétée. Nous devons aux magnifiques recherches de Regnault des données physiques très précises sur la vapeur d'eau; les tables dressées par l'illustre expérimentateur sont toujours consultées, chaque fois qu'il s'agit d'avoir des chiffres absolument sûrs; elles ont été la base solide sur laquelle allait s'édifier la théorie mécanique de la chaleur. Suivant avec succès la voie ouverte par Regnault, les savants praticiens de la Société industrielle de Mulhouse sont parvenus à éclairer d'une vive lumière les phénomènes qui s'accomplissent dans les générateurs, et spécialement la transmission du calorique à travers les parois en métal. Ils ont montré que la variété de formes et de dispositions des chaudières est loin de produire des variations corrélatives dans le rendement en eau vaporisée.

Au milieu de leur diversité, les systèmes actuels de générateurs peuvent se rattacher à quatre catégories principales : les chaudières à foyer extérieur; les chaudières à foyer intérieur; les chaudières tubulaires, avec parcours de flammes à l'intérieur des tubes; les chaudières à petits éléments ou à circulation d'eau dans des tubes léchés extérieurement par les flammes.

Il existe d'ailleurs un grand nombre de types mixtes, se rattachant à deux ou plusieurs des catégories précédentes.

2. Chaudières à foyer extérieur. — Les chaudières à foyer extérieur ont été employées dès l'origine de la machine à vapeur. Au temps de Watt et même longtemps après lui, alors que la pression demeurait très faible, ces chaudières étaient à parois planes ou concaves (chaudières *à tombeau* de Watt). Postérieurement, l'emploi des moyennes et des hautes pressions a conduit à composer les générateurs de cylindres et de portions de sphères.

Sous sa forme la plus simple, la chaudière à foyer extérieur comprend un corps cylindrique et deux fonds emboutis. Elle occupe beau-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

coup de place pour une faible surface de chauffe : aussi la rencontre-t-on rarement, si ce n'est dans la position verticale (chaudières de forges).

Ordinairement la chaudière est horizontale, et, pour augmenter la surface de chauffe, on lui adjoint un, deux ou trois bouilleurs cylindriques. Le tout est enveloppé d'un fourneau comportant trois ou quatre parcours de flammes. Ainsi est née la chaudière dite *à bouilleurs*, qui, depuis longtemps, constitue le type le plus usuel dans les grandes manufactures françaises.

3. Chaudières à foyer intérieur. — Les chaudières à foyer intérieur sont fréquemment cylindriques et contiennent un ou plusieurs carneaux de même forme, qui les traversent de bout en bout et livrent passage aux gaz du foyer. Souvent le système du foyer intérieur se combine avec des retours de flammes extérieurs.

Dès les premiers temps, on a cherché à accroître la surface de chauffe en ajoutant un carneau intérieur à la chaudière de Watt. Cette disposition devenant elle-même insuffisante pour les chaudières de bateaux, on a multiplié les carneaux en leur donnant une section rectangulaire et en les séparant entre eux par une lame d'eau peu épaisse : après avoir été largement employées, ces chaudières dites *à galeries* ont été remplacées par les chaudières tubulaires.

Parmi les chaudières à foyer intérieur, il y lieu de citer notamment les *chaudières de Cornouailles*, les *chaudières de Lancashire*, les *chaudières Fairbairn* et les *chaudières Galloway*. Le type de Cornouailles, très répandu en Angleterre, n'a qu'un carneau cylindrique intérieur; il paraît avoir été imaginé avant 1786, aux États-Unis, par Oliver Evans qui en faisait usage dès cette époque. Dans le type de Lancashire, la chaudière reçoit deux carneaux longitudinaux. Le type Fairbairn présente deux corps cylindriques remplis d'eau, qui renferment deux foyers intérieurs de même forme et qui communiquent par des cuissards avec un réservoir commun superposé. Quant au type Galloway, il réalise l'un des expédients appliqués pour accroître la surface de chauffe et par suite l'effet utile, sans changer la forme du générateur

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et sans en augmenter proportionnellement le prix de revient : les deux carneaux cylindriques contenant les foyers viennent se réunir au delà de la grille en un conduit unique, dont les deux larges faces sont entretoisées par une série de tubes coniques où circule l'eau.

4. Chaudières tubulaires. — La chaudière tubulaire, avec parcours de flammes à l'intérieur des tubes, a été créée en France par Marc Séguin, en 1828, et appliquée pour la première fois d'une façon pratique par R. Stephenson [1].

Depuis, ce type est resté le seul en usage pour les locomotives et a prévalu également pour les locomobiles. Mais c'est seulement à une époque récente qu'il a été adopté d'une manière courante pour les manufactures[2] et qu'on a pu, grâce à d'ingénieuses modifications et à l'emploi des condenseurs par surface, l'introduire dans les appareils marins.

La chaudière de locomotive, modèle primordial et le plus répandu des chaudières tubulaires, se caractérise par une boîte à feu métallique, disposée à l'une de ses extrémités et enveloppée d'eau sur toutes ses faces, et par une série de tubes que parcourent les flammes en se rendant vers la boîte à fumée; le faisceau tubulaire plonge dans la masse d'eau que contient un corps cylindrique extérieur. Faible volume, légèreté, grande puissance de vaporisation, tels sont les avantages essentiels du système.

Ordinairement les tubes sont horizontaux. Quelques constructeurs jugent avantageux d'adopter la position verticale ou inclinée; en ce cas, la partie supérieure du faisceau traverse le réservoir de vapeur et joue le rôle de surchauffeur. Pour les chaudières fixes, le système tubulaire se combine assez souvent avec divers éléments empruntés à d'autres systèmes : on y ajoute, par exemple, un corps cylindrique (en vue d'augmenter le volume du réservoir d'eau), ou bien des

[1] Locomotive *The Rocket*. (Concours ouvert en 1829 pour l'exploitation de la ligne Liverpool-Manchester.)

[2] Cette adoption est due en particulier à Fairbairn, pour l'Angleterre; à Molinos et Pronnier, ainsi qu'à Provost, pour la France (1855); à Piedbœuf, pour l'Allemagne et la Belgique.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

réchauffeurs d'eau d'alimentation; on donne parfois au foyer la forme d'un bouilleur intérieur; etc.

Les tubes exigent des nettoyages assez fréquents. Il y a là une opération assez difficile. Divers artifices, ayant pour but de rendre quelques-uns des tubes amovibles, ont été mis en œuvre afin de tourner cette difficulté (système Bérendorf, etc.). Laurens et Thomas, Farcot et d'autres constructeurs sont allés plus loin et ont rendu amovible l'ensemble du faisceau : ce dispositif, après avoir reçu divers perfectionnements, est entré dans la pratique et rend de fort bons services.

5. Chaudières à tubes bouilleurs. — Les chaudières à tubes bouilleurs diffèrent des chaudières tubulaires en ce que les tubes sont chauffés extérieurement par la flamme, et parcourus intérieurement par l'eau et par la vapeur.

Le premier générateur de ce genre paraît dû à l'Américain Nathan Read (1791). Cet inventeur se proposait d'obtenir une chaudière solide, légère, peu volumineuse et présentant une sécurité complète pour la traction des voitures et des bateaux; dans ce but, il disposa une enveloppe cylindrique verticale avec boîte à feu entourée d'eau sur toutes ses parois; au ciel du foyer se rattachait une série de tubes à eau descendant dans la flamme. En 1804, un autre Américain, John Stevens, construisit un bateau à vapeur muni d'une chaudière à haute pression, avec tubes à eau; il semble avoir été le premier à reconnaître pleinement l'importance du principe appliqué dans ce système[1]. Depuis, les chaudières tubulées ont servi de thème aux recherches de nombreux ingénieurs, notamment de Woolf et Perkins en Angleterre, du docteur Alban en Allemagne, du baron Séguier en France.

Grâce aux garanties qu'elles offrent contre les explosions, les chau-

[1] Dans un brevet de 1805, Stevens s'exprime ainsi: « Le principe de l'invention consiste à constituer une chaudière au moyen « d'un système ou d'une combinaison de petits « vaisseaux, au lieu d'en employer un seul « grand comme d'habitude, la force de résistance de la matière dont ces vaisseaux sont « composés augmentant à mesure que leur capacité diminue ».

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dières à tubes bouilleurs se sont peu à peu répandues en même temps que l'emploi des hautes pressions. Elles ont pris place dans beaucoup d'installations, qui ont besoin d'appareils sûrs et puissants sous un faible volume et un poids restreint. Leur principal défaut est la difficulté de maintenir constants le niveau de l'eau et la pression; aussi cherche-t-on, autant que possible, à régler automatiquement l'alimentation et le tirage.

La chaudière Belleville, dont l'invention remonte à quarante ans, est l'appareil à tubes bouilleurs le plus usuel en France. Elle se compose essentiellement de deux collecteurs, l'un supérieur, l'autre inférieur, réunis par une série de serpentins chauffés dans une enceinte en métal ou en briques; la vapeur est séparée de l'eau au moyen de chicanes et, en outre, séchée à sa sortie par le passage à travers des tubes chauffés; la pression et le niveau de l'eau se règlent automatiquement.

D'autres générateurs à petits éléments comportent des tubes rectilignes, comme le type Belleville, mais diffèrent notamment de ce type en ce que les tubes ne sont pas disposés de manière à former des serpentins. Souvent, pour éviter les difficultés de conduite d'une chaudière à très faible volume d'eau, on met les tubes en communication avec un récipient supérieur d'assez forte capacité, à demi plein d'eau, peu ou pas chauffé. Je citerai, comme exemples, la chaudière de Naeyer, le générateur Root, la chaudière Babcock et Wilcox fort usitée aux États-Unis, etc.

Parfois on constitue aussi les générateurs avec des tubes de très petit diamètre. Cette disposition est particulièrement commode pour construire des appareils de faible dimension.

Enfin il convient de ranger parmi les générateurs tubulaires à chauffage extérieur des tubes les chaudières du type Field, qui ont été inventées en 1865 et dont l'idée première semble même appartenir à Perkins (1831). L'élément essentiel est un tube vertical, fermé par le bas et ouvert par le haut; l'extrémité ouverte sert à l'entrée de l'eau, que guide un tube intérieur ouvert aux deux bouts; les vapeurs se dégageant dans l'espace annulaire déterminent un appel et par suite

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

une circulation énergique de l'eau. Outre son emploi pour les chaudières Field, ce tube s'applique à un grand nombre de générateurs. Une adaptation remarquable en a été faite aux pompes à incendie à vapeur (pompes Merryweather). Les générateurs Field ont mis à la mode l'idée de la circulation rapide de l'eau, et ce principe a déjà reçu de larges applications.

6. Réchauffeurs. — Dans les chaudières ordinaires, les fumées s'échappent à une température ne dépassant pas de plus de 100 à 150 degrés celle de la chaudière; à partir de cette limite, la surface de chauffe n'a plus d'efficacité pratique et il serait illusoire de la prolonger. Pour dépouiller plus complètement les gaz de leur chaleur avant de les lancer dans la cheminée, on a eu l'idée de les faire servir au chauffage de l'eau froide d'alimentation.

Il y a fort longtemps que la maison Farcot disposait, à côté de ses chaudières, une série de bouilleurs superposés, communiquant au moyen de cuissards et parcourus de bas en haut par l'eau alimentaire, tandis que les gaz suivaient un parcours inverse, de manière à réaliser un chauffage méthodique[1]. La Société industrielle de Mulhouse a étudié de près les conditions de fonctionnement des réchauffeurs, et ses études ont beaucoup éclairé la question.

Actuellement les chaudières avec réchauffeurs sont assez usitées en France. Dans d'autres pays, la préférence a été donnée à des réchauffeurs ne formant pas partie intégrante de la chaudière, mais placés entre elle et la cheminée : les *economisers* de Green et autres consistent en un groupe de tubes disposés dans des carneaux séparant le générateur de la cheminée.

L'échauffement progressif de l'eau d'alimentation dans les réchauffeurs a pour effet d'amener le dépôt de la plus grande partie des sels calcaires, et concourt puissamment à réduire le nombre et les difficultés des nettoyages de la chaudière. Ces appareils constituent donc de véritables épurateurs.

[1] Le brevet de Farcot pour une chaudière à deux réchauffeurs latéraux date de 1845. Avant lui, Cavé établissait déjà ses chaudières avec un réchauffeur latéral.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

7. Alimentation des chaudières. — Pour l'alimentation des chaudières, on fait, en bien des cas, usage de *pompes* commandées par la machine motrice principale ou par de petits chevaux indépendants. La marche de ces pompes peut être réglée automatiquement par un flotteur, comme dans les appareils Belleville. On a d'ordinaire recours aux pompes quand l'alimentation est faite à l'eau chaude sortie du condenseur; avec l'eau froide, on se sert souvent des *injecteurs*.

Ces derniers appareils reposent sur un principe bien connu. L'idée de se servir de l'entraînement d'un jet à grande vitesse pour déterminer le mouvement d'un fluide n'est pas nouvelle. Sans remonter aux trompes des forges catalanes, qui utilisent ainsi, pour la soufflerie des foyers, les chutes d'eau si abondantes dans ces montagnes, il convient de rappeler les expériences de Mannoury Dectot, qui datent de plus de soixante-dix ans : cet expérimentateur employait la puissance vive d'un jet de vapeur pour élever l'eau dans une conduite ascensionnelle.

Les tentatives de Mannoury et d'autres moins classiques restèrent sans résultat effectif jusqu'à l'invention de l'injecteur Giffard[1], appareil complet, pourvu de moyens de réglage, s'adaptant sous une forme unique aux circonstances les plus variées de pression et de température, et qui eut dès son apparition un succès justifié. Depuis, des modifications ont été apportées à l'injecteur Giffard, surtout dans le but d'en simplifier le jeu ou la construction. Souvent on a obtenu cette simplification en supprimant l'une des fonctions de l'appareil primitif, par exemple la propriété qu'il possède d'aspirer l'eau à une certaine hauteur au-dessus de la bâche alimentaire. Entre autres mérites, l'injecteur a celui d'utiliser pour le chauffage de l'eau d'alimentation une partie de la chaleur prise à la chaudière, avantage très appréciable dans les chaudières sans réchauffeur. Il est généralement employé sur les locomotives (sauf aux États-Unis); on s'en sert fréquemment aussi pour les générateurs fixes.

Un système essayé sous bien des formes, depuis Savery (1698),

[1] Le brevet français et la patente anglaise datent de 1858.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

est la *bouteille alimentaire*. On continue à faire usage de cet appareil fort connu, principalement quand les chaudières ne sont destinées qu'au chauffage.

Il importe de s'opposer à ce que les dépôts prennent naissance dans les chaudières ou du moins à ce qu'ils y deviennent nuisibles. Ce problème n'a pas reçu de solution générale et applicable à tous les cas. Mais on dispose d'un certain nombre de procédés particuliers, consacrés par une longue pratique. En dehors de l'épuration des eaux par l'échauffement dans les réchauffeurs et *economisers*, mentionnons le traitement chimique à froid et en dehors des chaudières, méthode dès longtemps appliquée par diverses compagnies de chemins de fer; la partie la plus délicate est la séparation des précipités ténus à l'aide d'appareils de décantation ou de filtres.

Les dépôts se cantonnant dans les chaudières sur les points où l'eau est le moins agitée, quelques inventeurs en ont tiré parti pour diminuer les incrustations (collecteurs Dulac).

Enfin un des moyens les plus simples, sinon les plus efficaces, est l'emploi d'un des innombrables *désincrustants*, qui agissent par précipitation de dépôts pulvérulents ou par simple action mécanique, en maintenant les dépôts à l'état bourbeux.

8. Accessoires divers des générateurs. — La régularité de l'alimentation présente une extrême importance pour la sécurité du fonctionnement des générateurs. Toute chaudière doit être nécessairement munie de dispositifs propres à contrôler cette alimentation. Le plus commode des *indicateurs de niveau* est le *tube de verre*, réglementaire en France; il a ordinairement comme compagnons des *robinets de jauge*, souvent aussi un *flotteur* qui transmet ses indications à une aiguille; parmi les différents modes de transmission, ceux qui sont fondés sur l'attraction magnétique paraissent donner les meilleurs résultats.

En aucun cas, la pression de la vapeur ne doit dépasser la limite de résistance de la chaudière. Afin de parer à ce danger, on a recours

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à des *soupapes de sûreté,* qui se soulèvent dès que la pression limite va être atteinte. Les perfectionnements apportés à ces appareils ont eu pour but d'activer le dégagement de la vapeur, après l'ouverture de la soupape, et d'assurer ensuite la fermeture aussitôt que la pression redescend au-dessous de la limite voulue.

Les *manomètres* permettent de connaître à tout instant la pression réelle de la chaudière. Divers inconvénients ont conduit à abandonner les manomètres à mercure (à air libre ou à air comprimé); les manomètres métalliques sont seuls en usage depuis qu'on est arrivé à les construire dans des conditions d'exactitude et de sûreté de fonctionnement offrant les garanties nécessaires. La catégorie des manomètres à tubes métalliques est la plus répandue.

Il est bon que la vapeur envoyée à la machine soit sèche ou à peu près sèche. On arrive à réduire la proportion d'eau entraînée à l'aide de divers artifices, tels que l'emploi du *surchauffeur* ou de dispositifs qui réalisent mécaniquement la séparation des gouttelettes liquides.

Parmi les accessoires des chaudières et des canalisations de vapeur, mentionnons encore les *clapets automatiques* pour fermeture de prise de vapeur, les innombrables systèmes de *purgeurs automatiques,* les *enveloppes isolantes,* les *détendeurs* qui ramènent la pression à un chiffre déterminé et qui reçoivent aujourd'hui de fréquentes applications par suite du timbre élevé des générateurs à petits éléments.

9. Production de la chaleur. — Ordinairement la combustion des charbons s'opère sur des *grilles,* dont la qualité primordiale est d'avoir des proportions convenables, bien en rapport avec la quantité et les propriétés du combustible. Le plus souvent, les barreaux sont fixes, en fonte ou en fer; leur épaisseur et surtout leur espacement varient selon la nature du charbon. Sans se développer beaucoup, l'emploi des grilles mobiles, oscillantes, pour le décrassage des feux, est assez fréquent.

Des appareils ont été créés pour le chargement mécanique, soit qu'il s'agisse de brûler des matières pauvres, comme la tannée, les copeaux humides, la bagasse, la paille, etc., soit qu'on utilise des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

houilles menues. Ces appareils offrent de sérieux avantages; ils évitent les dépenses excessives de main-d'œuvre et restreignent les variations d'allures de la combustion; aussi commencent-ils à se propager sous des formes diverses.

A quelques exceptions près, les combustibles liquides ou gazeux ne peuvent servir au chauffage des générateurs que dans certaines régions ou près des usines qui produisent ces combustibles. Les liquides se brûlent habituellement à l'aide de pulvérisateurs, où un jet de vapeur les entraîne avec l'air nécessaire à leur combustion. En général, on brûle les gaz pauvres des hauts fourneaux au-dessus d'une grille où est entretenu un feu de houille. Quant à l'application du gazogène Siemens pour la production de la vapeur, elle ne paraît pas fréquente.

Dans la plupart des installations fixes, la combustion est exclusivement assurée par le *tirage naturel* de la cheminée. Souvent on fait usage de tuyères, donnant de l'air au-dessus des grilles; mais c'est moins pour activer le tirage que pour prévenir la fumée. Le *tirage forcé* proprement dit se réalise, tantôt par échappement dans la cheminée de la vapeur sortant du cylindre (comme dans les locomotives et dans beaucoup de locomobiles ou de machines demi-fixes), tantôt par insufflation d'air au moyen d'un ventilateur (notamment dans les chaudières des torpilleurs).

L'activité du feu des chaudières fixes se règle surtout par la manœuvre d'un *registre*. Parfois un piston que presse la vapeur de la chaudière accomplit cette manœuvre et modifie automatiquement le tirage (générateurs Belleville); d'après Stuart, ce dispositif serait dû à Murray, qui l'aurait appliqué dès 1799.

On sait que la combustion incomplète de la houille donne une *fumée noire* qui s'échappe par la cheminée. Cette fumée a des inconvénients dans les centres de population [1]. Des ordonnances ont été édic-

[1] Le carbone en suspension, qui colore si fortement la fumée, ne constitue, en réalité, qu'une très faible fraction du combustible et n'occasionne qu'une perte extrêmement minime. Mais la fumée est désagréable et incommode, défauts assez graves pour qu'on se soit préoccupé d'y remédier.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tées d'abord en Angleterre, puis en France, pour enjoindre aux usiniers des villes de brûler leur fumée; elles sont jusqu'ici restées sans résultat. Ce n'est pas que les inventions aient manqué, car la liste serait longue des appareils proposés en vue de résoudre le problème. Dans les uns, on cherche à rendre la combustion plus complète, en provoquant artificiellement le brassage à haute température des gaz et de l'air appelé, soit par des jets de vapeur (systèmes Thierry, Turck), soit au moyen de chicanes convenablement disposées; dans les autres, on agit sur le mode de chargement, de manière à le rendre à peu près continu et à mettre les produits de la distillation du combustible frais en contact avec des parties incandescentes où ils se brûlent (grille mobile de Juckes, exposée en 1855; grille Langen). Outre le foyer Ten-Brinck et le foyer Siemens, je pourrais en citer encore beaucoup d'autres procédant des mêmes principes : chargement rationnel de la houille, brassage des gaz à une haute température, admission d'air supplémentaire, conversion préalable de la houille en gaz combustibles. La plupart de ces appareils, manœuvrés avec soin et intelligence, sont réellement fumivores; néanmoins, sauf le foyer Ten-Brinck, ils entrent peu dans la pratique : la raison en est peut-être dans ce fait bien constaté aujourd'hui qu'avec un foyer ordinaire, convenablement proportionné, les chauffeurs consciencieux et habiles peuvent généralement arriver au degré de fumivorité voulu.

10. Observations sur les générateurs exposés en 1889. — Les dispositions d'ensemble des générateurs exposés en 1889 ne différaient pas sensiblement de celles qui étaient déjà connues. On y retrouvait des progrès signalés dès 1878 et relatifs à la perfection du travail, ainsi qu'à une meilleure entente des proportions entre les divers éléments de la chaudière : surface de chauffe, surface de grille, section des carneaux et de la cheminée, etc.

Toutefois un fait nouveau se dégageait nettement : je veux parler de l'extension qu'a prise depuis quelques années le type de chaudière à circulation d'eau dans des tubes. Beaucoup d'installations récentes, notamment pour l'éclairage électrique, comportent ce genre de gé-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nérateurs; des applications importantes en ont été faites sur mer; l'Exposition de 1889 en était abondamment pourvue. De même, sur une vingtaine de générateurs exposés à Berlin au cours de l'année 1889, la plupart appartenaient au genre dit *à petits éléments*.

Ces appareils, où la vaporisation s'effectue dans des faisceaux de tubes d'un faible diamètre, ont une résistance bien supérieure à celle des chaudières constituées par des corps cylindriques à grand rayon. Le volume d'eau emmagasiné y étant beaucoup moindre à surface égale, les conséquences des explosions sont moins redoutables : il y a là un avantage précieux, surtout alors que les besoins de l'industrie et le développement des installations de chauffage, de ventilation et d'électricité, dans les villes, obligent à rapprocher les usines à vapeur des agglomérations humaines. En outre, les générateurs à tubes bouilleurs se recommandent par leur faible poids, par le peu de place qu'ils occupent, par la facilité de leur transport et de leur montage, par la rapidité de leur mise en pression.

A côté des chaudières Belleville, depuis longtemps usuelles en France, on trouvait à l'Exposition de 1889 les chaudières de Naeyer, Root, Lagosse et Bouché, Morelle, où les tubes débouchent à leurs extrémités, soit individuellement, soit par groupes de deux, dans des boîtes que des communications réunissent dans le sens vertical; les chaudières Babcock et Wilcox, Roser, Maniguet, Montupet, formées de tubes assemblés des deux côtés par des collecteurs verticaux ou inclinés; les chaudières Oriolle, Mathot, Hanrez, Lagrafel et d'Allest, composées d'un faisceau de tubes débouchant à chaque extrémité dans un collecteur unique. Pour une autre classe de générateurs à tubes, l'arrivée de l'eau alimentaire et le dégagement de la vapeur ont lieu du même côté et non aux deux extrémités des tubes comme dans les chaudières précédentes : telles sont les chaudières fondées sur l'emploi du tube Field, la chaudière Terme et Deharbe, la chaudière Bourgois et Lencauchez. Je citerai enfin le générateur Serpollet, type aussi réduit que possible et où l'eau se vaporise instantanément au fur et à mesure de son introduction.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

§ 3. Machines thermiques autres que les machines à vapeur d'eau.

1. Faible rendement thermique de la machine à vapeur ordinaire. — Après les machines à vapeur ordinaires, qui sont jusqu'à ce jour les moteurs thermiques industriels par excellence, il convient d'examiner sommairement les machines motrices qui empruntent leur puissance à la chaleur par l'intermédiaire d'un corps autre que la vapeur d'eau : ces moteurs prennent en effet chaque jour une place plus importante. Mais, auparavant, de courtes indications sont nécessaires sur le rendement thermique des machines à vapeur ordinaires.

Dans ces machines, la quantité de chaleur transformée en travail est minime relativement à celle qui traverse l'appareil. Les meilleures d'entre elles ne rendent, sous forme de travail, que 8 à 9 p. 100 de la chaleur contenue dans le combustible, limite qui semble dérisoire, à considérer le haut degré de perfection atteint par l'art des constructions mécaniques.

Ce fait, depuis longtemps constaté, passait pour inhérent à la vapeur d'eau; on l'attribuait au calorique latent qu'elle retient et qui se perd à l'échappement. De là, les nombreuses tentatives faites en vue de substituer à la vapeur d'eau des fluides différents, tels que la vapeur d'éther ou de chloroforme, l'ammoniaque, l'air atmosphérique, etc.

Plus tard, les progrès réalisés par la théorie mécanique de la chaleur ont jeté un jour nouveau sur la question. On a appris que le rendement dynamique de la chaleur traversant une machine thermique dépend avant tout de l'écart des températures entre lesquelles évolue la machine. Or cet écart est faible dans les machines à vapeur ordinaires : la température, à la sortie du cylindre, ne saurait être abaissée au-dessous de celle du corps froid dont on dispose, eau, air, etc.; d'autre part, la température à la chaudière se trouve limitée par la progression rapide suivant laquelle s'élèvent les tensions de la vapeur d'eau saturée. En réalité, la principale chute de température a lieu entre le foyer et la chaudière, et cette chute, qui se mesure par

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

1,000 degrés ou 1,200 degrés, reste complètement inutilisée au point de vue de la production du travail. Telle est la cause capitale du faible effet utile de nos moteurs à vapeur.

Une autre cause réside dans la multiplicité des transformations que doit subir la chaleur avant de ressortir à l'état de travail. Il faut que le calorique se dégage du combustible, qu'il pénètre dans la chaudière pour former la vapeur d'eau, que cette vapeur se rende au cylindre et agisse sur le piston. Le travail ainsi engendré est recueilli sur l'arbre de couche par une transmission compliquée.

2. Comparaison entre la machine à vapeur ordinaire et les autres moteurs thermiques. — Si les propriétés de la vapeur d'eau saturée ne permettent pas, avec les moteurs actuels, d'obtenir des rendements thermiques satisfaisants, rien ne semble s'opposer à ce que d'autres fluides, doués de propriétés physiques différentes, se prêtent au contraire à des rendements élevés. Les recherches faites en vue d'améliorer l'utilisation de la chaleur ont pour but de faire agir certains fluides à de hautes températures, autant que possible à la température même de combustion; elles tendent aussi à rendre plus directe et par suite plus économique la transformation de la chaleur en travail. Quelque imparfaite qu'elle soit encore, la machine à gaz, fruit de ces recherches, l'emporte déjà largement sur les machines à vapeur les plus perfectionnées, au moins au point de vue exclusif du rendement thermique.

Cette question de l'économie dans l'emploi de la chaleur présente une telle importance qu'elle a plus d'une fois fait oublier les autres conditions auxquelles doit satisfaire un moteur industriel.

Tout moteur à rendement thermique élevé n'est pas nécessairement économique, car la dépense pour dégager un certain nombre de calories dépend du prix de revient de chacune de ces calories, prix dans lequel interviennent des facteurs multiples (prix du combustible, frais de main-d'œuvre et d'entretien, intérêts et amortissement des appareils, etc.).

L'économie pratique ne constitue pas d'ailleurs le seul élément à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

considérer dans la production du travail. Elle ne prend même que rarement le caractère d'un avantage tout à fait prédominant. Le moteur doit présenter d'autres qualités tout aussi nécessaires et souvent beaucoup plus indispensables, telles que l'adaptation parfaite aux opérations à exécuter, la sûreté de marche, le bas prix d'achat, l'entretien peu coûteux, etc. On le voit, le problème est extrêmement complexe.

En ce qui concerne l'adaptation aux travaux d'atelier, les moteurs à air chaud ont un mérite incontestable; ils donnent peu de sujétions, comme machines domestiques, et peuvent être conduits par n'importe quelles mains.

Sous le rapport de l'encombrement, malgré la compacité des machines à vapeur contemporaines, les autres moteurs thermiques soutiennent facilement le parallèle.

Certaines machines thermiques n'exigent pas d'eau pour leur fonctionnement; c'est une qualité précieuse dans bien des cas et particulièrement favorable aux usages agricoles.

La machine à vapeur ne peut fonctionner qu'une fois la chaudière en pression, ce qui exige un temps plus ou moins long. Il y a là une sujétion à laquelle échappent la plupart des autres moteurs thermiques : les machines à gaz, par exemple, sont toujours prêtes à entrer en fonctionnement et ne consomment qu'autant qu'elles travaillent.

Une question capitale est celle de la sécurité. A cet égard, les moteurs thermiques sans chaudière à vapeur offrent un avantage manifeste. Parmi les diverses causes qui ont développé, dans ces dernières années, l'industrie des machines à gaz et à air chaud, la considération de sécurité a peut-être été l'une des plus efficaces.

Sans pousser plus loin cette comparaison, il est un fait certain : les usages auxquels sont appliqués les moteurs thermiques prennent une extension rapide.

3. Machines à vapeur autre que la vapeur d'eau saturée. — Jetons un coup d'œil sur les deux grandes catégories entre lesquelles se

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

répartissent les moteurs thermiques, suivant que le fluide agissant est une vapeur ou un gaz permanent.

La vapeur d'eau laisse à désirer dans ses applications aux machines, parce que sa pression à saturation varie très rapidement avec la température. On a souvent essayé de se soustraire à cet inconvénient en faisant emploi de la vapeur surchauffée. Malheureusement la vapeur d'eau très surchauffée n'a pu réussir jusqu'à ce jour : elle brûle les lubrifiants et fait gripper les surfaces frottantes. Il n'en est plus de même à la vérité, quand la surchauffe reste modérée; mais alors surgit un autre obstacle, la difficulté de régler convenablement le degré de surchauffe.

Après qu'entre les mains de Thilorier, l'acide carbonique eut cessé d'être incoercible, Brunel songea à l'utiliser comme agent des moteurs thermiques. Cette idée a été reprise en 1855 par Ghilliano et Cristin, et plus tard par Marquis, Mékarski, etc.

Cartwright, en 1797, puis Tissot, Beghin, le docteur Herr ont proposé des machines à vapeur d'alcool ou d'éther. L'ammoniaque a été également expérimentée. Tout récemment, on a appliqué la vapeur de pétrole léger, pour les petites forces telles que celles qui peuvent être nécessaires à la propulsion des canots.

Depuis les tentatives si remarquables de du Tremblay (1852), l'emploi de la vapeur d'eau combiné avec celui de vapeurs plus volatiles ne semble plus avoir été tenté avec quelque suite. Après l'éther ou le chlorure de carbone dont se servait du Tremblay, on a successivement proposé le chloroforme, le chlorure de méthyle, l'acide sulfureux, etc.; mais ces recherches n'ont pas amené de résultat pratique, et le type de machines *à vapeurs combinées* peut être considéré comme entièrement abandonné [1].

4. Machines à air chaud. Machines à gaz. — L'usage des moteurs à air chaud paraît se développer. Eu égard à leurs avantages spéciaux de commodité, de sécurité dans l'emploi, de mise en train assez rapide,

[1] On leur a substitué avec avantage les compound, machines à vapeurs combinées du même liquide.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ils sont quelquefois adoptés pour les puissances petites et moyennes [1]. Le nombre des types proposés est considérable; quelques-uns seulement de ces types ont pu se répandre.

Dans beaucoup de systèmes de machines à air, le fluide, contenu par un récipient métallique, est chauffé au moyen d'un foyer extérieur.

Telle était la machine que Robert Stirling créa en 1816 : cette machine, à masse d'air constante, alternativement chauffée et refroidie, se caractérisait par l'absence de tiroirs, de soupapes ou d'autres organes de distribution; elle comportait un *régénérateur de chaleur*, formé de toiles métalliques ou autres substances offrant une surface de contact étendue et recueillant la chaleur des gaz à un certain moment de leur évolution, pour la restituer à un autre moment. A la même famille appartient la machine Rider, déjà connue en 1878 et fort employée aux États-Unis, notamment dans les élévations d'eau des fermes isolées : le principe de ce moteur est semblable à celui de la curieuse machine Franchot, dont le modèle fut construit en 1855 et qui comprenait deux cylindres de mêmes dimensions, avec pistons attaquant deux manivelles calées à angle droit sur un arbre unique; ces cylindres communiquaient par deux conduits contenant chacun un régénérateur; l'un des cylindres était chauffé par un foyer, l'autre refroidi par une circulation d'eau. Des dispositions analogues à celles de la machine de Stirling ont été appliquées dans la machine plus récente de Laubereau, qui en diffère surtout par l'absence de régénérateur.

Parmi les moteurs à air chaud, avec foyer extérieur, il en est qui, à l'inverse des précédents, sont munis d'un appareil de distribution. Ces moteurs ont pour type caractéristique la célèbre machine, aujourd'hui disparue, d'Ericsson (1852), à régénérateur de chaleur. A la suite d'expériences faites sur une large échelle, Ericsson abandonna l'emploi des régénérateurs et se livra à la construction des petites machines caloriques dans le genre de celles de Laubereau.

[1] Le service des phares, en France et en Angleterre, les emploie pour l'éclairage électrique et la mise en action des sirènes en cas de brouillard.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Aujourd'hui les régénérateurs sont à peu près complètement délaissés, malgré leurs avantages théoriques, et ne se retrouvent plus guère que dans quelques machines de faible puissance.

Toutes les machines qui viennent d'être citées ont ce caractère commun, que le chauffage de l'air se fait par conductibilité à travers des surfaces métalliques. L'utilisation de la chaleur du combustible y est fort médiocre; il faut du reste modérer le chauffage, afin de ménager les enveloppes. Aussi les machines de ce genre ne semblent-elles convenir qu'au cas de forces restreintes, où la question d'économie est accessoire et où la question de commodité prend au contraire une prépondérance marquée.

Quand il s'agit d'obtenir des puissances plus considérables, on renferme le foyer à l'intérieur de la machine, de telle sorte que l'air devient à la fois moteur et comburant. Un cylindre de pompe puise l'air à l'extérieur et le refoule dans un réservoir, où se trouve le foyer; de là, l'air chauffé et en partie brûlé arrive par une distribution au cylindre moteur, dont le piston agit sur l'arbre de couche; une partie du travail développé sert au fonctionnement de la pompe à air. Le combustible (coke) est introduit par un véritable sassement.

Ce système remonte déjà à une époque assez éloignée. Il a donné lieu à des tentatives persévérantes et à des expériences suivies de la part de Belou, dont l'*aéromoteur* date de 1860. Belou s'efforçait de construire des machines très puissantes et se proposait comme but l'économie de combustible. Mais ses recherches et son ingéniosité échouèrent devant les difficultés pratiques.

Le problème a été repris récemment. Grâce à des combinaisons habiles, on a pu tourner en partie ces difficultés et faire fonctionner pratiquement des moteurs de ce genre, du moins pour de petites forces. Je citerai entre autres les machines Hock, Brown, Todt, ainsi que la machine Bénier, où le foyer occupe le fond même du cylindre moteur; plusieurs de ces appareils sont assez répandus.

Les inconvénients du foyer intérieur tiennent principalement à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'emploi d'un combustible solide brûlé en morceaux sur une grille. On conçoit la possibilité de supprimer la grille et de faire pénétrer dans le cylindre un combustible assez divisé pour s'unir intimement à l'oxygène de l'air et pour donner une réaction presque instantanée. Trois types nouveaux de machines à air chaud ont ainsi pris naissance : le *moteur à poussière de charbon* (combustible solide); le *moteur à pétrole* (combustible liquide); le *moteur à gaz* (combustible gazeux). Parmi ces trois types, le dernier, de beaucoup le plus simple, s'est infiniment plus répandu que les deux autres. On a employé du gaz hydrogène et du gaz à l'eau; mais le *gaz d'éclairage* jouit d'une prépondérance incontestée, tant pour le nombre que pour la puissance des machines auxquelles il s'applique.

Introduit dans le cylindre sous forme gazeuse, le combustible se mélange à l'air qu'il doit échauffer. Au moment voulu, ce mélange est allumé; une explosion se produit; les gaz, à haute pression et à température élevée, agissent par leur détente sur le piston et engendrent le travail moteur. Tel est, à peu d'exceptions près, le principe de tous les moteurs qui utilisent le gaz d'éclairage comme combustible; ce sont des *machines à explosion*. Le prix du gaz d'éclairage oblige à en ménager la dépense et par conséquent à recourir aux hautes températures; pour empêcher la destruction des matériaux constituant les organes de la machine, on refroidit le cylindre par une circulation d'eau.

L'idée des machines à explosion n'est pas nouvelle. Sans compter le canon, où l'énergie renfermée dans la poudre se transforme en force vive du projectile et qui donne un très fort rendement dynamique, rappelons que dès 1680, avant les premières applications de la vapeur, Huyghens proposait de déterminer le mouvement d'un piston dans un cylindre par l'explosion d'une certaine quantité de poudre. En 1791, John Barber faisait breveter une machine motrice fondée sur l'inflammation d'un mélange d'air et de gaz carburé. Trois ans plus tard, un autre inventeur anglais, Robert Street, essayait une machine où le gaz était produit par des huiles légères de pétrole, de térébenthine ou autres. Au commencement de ce siècle, Philippe Lebon, ingénieur des ponts et chaussées, cherchant à vulgariser le gaz d'éclai-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rage, signalait le parti qu'on pourrait en tirer pour la production de force motrice; en 1801, dans une addition à son premier brevet de 1799, il exposait un projet de moteur à gaz et indiquait même le perfectionnement le plus notable qui ait été récemment apporté à la construction des machines de ce genre, la compression du mélange d'air et de gaz avant l'explosion. Lebon eut de nombreux imitateurs; cependant la plupart de ceux qui poursuivaient le même but délaissaient le gaz d'éclairage et lui préféraient, les uns des poudres explosibles (pyroélophore de Niepce, 1806), d'autres certains hydrocarbures (Herskine Hazard, 1826), d'autres encore l'hydrogène (Galy-Calazat et Dubain, 1826). Samuel Brown imagina, en 1823, la disposition actuellement en usage pour enflammer le mélange détonant. Dix ans après, Wellmann Wright employait le régulateur de vitesse à modifier la teneur du mélange explosif, suivant la quantité de travail à produire.

La première application pratique des machines à gaz n'eut lieu qu'en 1860. Toutes les tentatives antérieures contiennent bien le germe des dispositifs plus ou moins heureux réalisés depuis lors; mais elles étaient restées sans résultat pratique et sans consécration industrielle. C'est à Lenoir[1] et à Hugon que revient le mérite d'être sortis de l'ornière. Opérant par des procédés différents, ces deux inventeurs créèrent des machines à gaz d'éclairage qui eurent un légitime succès et se répandirent promptement.

Depuis, les perfectionnements des moteurs à gaz ont eu pour objet de réduire la consommation, qui est importante même pour les petites forces, de simplifier les organes, de rendre le fonctionnement plus sûr et la conduite plus facile. Le refroidissement des gaz par leur contact avec les parois du cylindre et l'imperfection du cycle

[1] Le moteur Lenoir (1860) était une machine horizontale à double effet; il ne présentait rien de bien original dans ses dispositions d'ensemble; mais des perfectionnents sérieux dans les détails et surtout une construction parfaite lui assuraient une marche régulière et continue. Quant au moteur Hugon, breveté en 1858, mais entré seulement en 1862 dans la pratique, il différait sur deux points du précédent : l'inflammation avait lieu au moyen d'un brûleur et non par l'étincelle électrique; le cylindre était refroidi et lubrifié par une injection d'eau froide, substituée à la circulation extérieure.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

parcouru par le fluide, qui est encore très chaud à l'échappement, sont les deux causes principales de perte que l'on s'est efforcé de combattre.

La machine à quatre cylindres de sir W. Siemens (1860) atténuait considérablement les pertes de chaleur, par l'emploi de régénérateurs. Elle ne paraît cependant pas avoir attiré beaucoup l'attention publique à l'Exposition de 1862, où elle fut présentée. C'est en poursuivant l'application des mêmes idées que Siemens a construit sa machine brevetée en 1881.

A l'Exposition de 1867, on remarqua beaucoup le moteur Otto et Langen, où la déperdition de chaleur, due au contact avec le cylindre refroidi, était atténuée par la grande vitesse donnée au piston pendant la détente des gaz chauds. Cette machine, du type dit *atmosphérique,* donnait d'excellents résultats, au point de vue de la consommation; néanmoins sa marche bruyante et la complication de son mécanisme l'ont fait bientôt délaisser pour une autre machine imaginée également par M. Otto. Les moteurs Gille (1874) et Hallewell (1875), appartenant aussi à la catégorie des machines atmosphériques, ont eu le même sort.

La nouvelle machine Otto, qui fit son apparition en 1878, était un moteur à compression. Elle obtint immédiatement un vif succès. Le cylindre y remplit un double office : il sert à la compression et à la production du travail moteur. C'est seulement après deux révolutions de l'arbre, soit après quatre coups de piston, dont un seul transmet à cet arbre une impulsion motrice, que le cycle se trouve fermé : au premier coup, le mélange explosif est aspiré dans le cylindre; le second soumet ce mélange à la compression; au troisième, l'explosion a lieu avec détente; les gaz résiduels sont partiellement expulsés au quatrième coup. La succession des phénomènes qui s'accomplissent à l'intérieur du cylindre forme le *cycle à quatre temps,* indiqué par Beau de Rochas en 1862, réalisé presque aussitôt dans une machine Otto qui fonctionnait en 1862 et 1863, puis reproduit ultérieurement dans un grand nombre de moteurs.

On augmente le rendement du moteur par la compression. Ce

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

moyen avait été indiqué par Lebon, dès 1801. Après lui, Reithmann (1838), Degrand (1859), etc., insistèrent de nouveau sur les heureux résultats d'une compression préalable du mélange dans le cylindre; mais aucun d'eux n'aboutit à un résultat pratique.

La conservation partielle des gaz brûlés a pour effet, tout à la fois, de simplifier le mécanisme du moteur et d'en accroître le rendement, en permettant la réalisation du cycle à quatre temps dans un seul cylindre.

La combinaison de la méthode de compression avec le moyen, découvert en 1876 par Otto, de conserver une partie notable des gaz résiduels sans nuire à la marche de la machine, a donné naissance au moteur à gaz moderne. Auparavant il n'existait que des moteurs consommant, sauf la machine atmosphérique Otto et Langen, trois ou quatre fois plus de gaz que le moteur Otto, et limités d'ailleurs à de faibles forces. Depuis l'apparition de la nouvelle machine Otto, au contraire, les moteurs à gaz ont pu aborder toutes les puissances et se propager; en quinze ans (1877-1891), on a construit près de 33,000 moteurs Otto, de 1/8 de cheval à 200 chevaux.

Aujourd'hui les moteurs de quelque puissance sont presque tous à compression préalable. Les inventeurs se sont attachés à améliorer encore le rendement du type Otto, en prolongeant la détente et en réduisant les pertes de calorique; ils ont cherché aussi à régulariser la marche et à diminuer les frais d'entretien. Chaque année a vu apparaître de nombreux modèles; je me borne à citer les moteurs Atkinson, Charon, Benz, Dugald-Clerk, etc.

Quant aux moteurs fonctionnant sans compression (comme l'ancien moteur Lenoir), on y a généralement renoncé à cause de leur grande consommation de combustible. Ils n'ont été conservés que pour de faibles puissances, quand la simplicité et la facilité d'emploi sont les conditions tout à fait prédominantes. Tel est le moteur Bisschop, exposé en 1878 et très usuel dans la petite industrie; tels sont aussi les petits moteurs Bénier, Forest, Noël.

En 1878, les moteurs à gaz étaient presque exclusivement de petits moteurs choisis parce qu'ils avaient le mérite d'être propres,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

commodes, sûrs, faciles à conduire, avantageux pour les travaux intermittents. Les mêmes raisons de commodité, de propreté et de service facile les font parfois adopter maintenant, avec une puissance plus considérable (50 à 60 chevaux, par exemple), surtout quand l'emplacement disponible est très restreint. Mais un fait nouveau et digne de remarque, c'est l'emploi, encore assez rare il est vrai en 1889, de grandes machines à gaz, allant au delà de 100 chevaux et montées au lieu de machines à vapeur sans autre motif que l'espoir d'une économie d'exploitation. Ces machines consomment en certains cas du gaz d'éclairage ordinaire, distillé dans l'usine même où elles travaillent, et plus souvent un combustible gazeux fourni par l'action de l'air et de la vapeur d'eau sur le charbon. Le moteur *simplex*, de 75 chevaux, fonctionnait ainsi à l'Exposition de 1889 avec du gaz Dowson.

La plupart des types de moteurs à gaz peuvent être modifiés de manière à consommer de l'air chargé de vapeur de pétrole; on a de cette façon des machines dites *à pétrole*, susceptibles d'emploi en dehors des villes (moteur agricole Lenoir; moteurs Brayton, Dusaulx, etc.).

Enfin, à côté des moteurs à explosion, se place la catégorie bien moins importante des moteurs à combustion. Comme exemple, je citerai le moteur Simon, exposé en 1878, qui est en réalité une machine mixte à air chaud et à vapeur d'eau.

4. Récepteurs hydrauliques.

1. Généralités. — Si l'on suppute la puissance que représentent les eaux tombant de nos montagnes à la mer, on arrive à des chiffres qui déconcertent l'imagination. C'est à peine cependant si une fraction insignifiante de cette puissance est utilisée; le surplus se perd en tourbillonnements stériles, ou n'a d'autre effet que de dégrader le lit des fleuves et de ravager leurs rives.

Le gaspillage dont nous sommes les témoins ne saurait être imputé à la mécanique. Depuis des siècles, les savants ont résolu le

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

problème qui consiste à recueillir les forces hydrauliques naturelles et à les transformer en travail utilisable. Notre génération a même sous la main des solutions si parfaites, au double point de vue scientifique et pratique, qu'il ne reste plus guère de progrès à accomplir.

Mais le mal tient à des difficultés d'un autre ordre. Au premier rang se placent les graves inconvénients que présentent pour l'industrie l'irrégularité du régime des cours d'eau, les variations de débit et de chute dues aux sécheresses ou aux crues, les chômages causés par les hautes eaux ou par les gelées. Souvent aussi l'éloignement des centres de population constitue un obstacle insurmontable pour les usines dont le fonctionnement exige un nombreux personnel ouvrier. Il n'est pas rare non plus que les installations hydrauliques entraînent des dépenses élevées de construction, une première mise de fonds devant laquelle hésitent et reculent les intéressés, malgré les économies d'exploitation qui leur seraient assurées pour l'avenir. Ajoutons enfin les oppositions violentes faites dans bien des cas à la création de toute chute d'eau nouvelle, soit par les riverains, soit par les usiniers déjà établis sur la même rivière.

Le tableau ne doit point toutefois être présenté sous des couleurs trop sombres. En maintes circonstances, les forces hydrauliques disponibles s'offrent dans des conditions qui permettent de les employer avantageusement; nous avons un grand nombre d'usines puissantes ou modestes dont elles actionnent les moteurs; chaque jour amène la création de nouveaux établissements actionnés par des chutes jusqu'alors stériles. Les promesses de l'électricité, pour le transport et la transmission de la force motrice à distance, autorisent d'ailleurs à concevoir les plus belles espérances et fortifient l'intérêt que présente par elle-même l'étude des moteurs hydrauliques, de leur histoire et de leur situation actuelle.

2. Roues hydrauliques à axe horizontal. — Les récepteurs hydrauliques le plus ordinairement employés sont des roues hydrauliques, c'est-à-dire des appareils prenant un mouvement de rotation continu autour d'un axe horizontal ou vertical, sous l'action de l'eau

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

agissant sur des palettes ou des augets. Commençons notre revue par les roues à axe horizontal.

Il est impossible de fixer le lieu ni la date de l'invention des roues à axe horizontal. On sait par Vitruve que Rome possédait, au temps d'Auguste, des roues à palettes en dessous actionnant des meules ou servant à l'élévation des eaux[1]. Mais les moulins hydrauliques ne se multiplièrent pas rapidement, car, deux siècles plus tard, Rome comptait encore 300 moulins à manège environ. Au VI^e^ siècle de notre ère, Procope mentionne l'emploi, sur le Tibre, de roues pendantes montées entre deux bateaux.

L'Allemagne semble avoir eu des moulins à eau dès le IV^e^ siècle; il en existait déjà beaucoup au V^e^ siècle, sur le sol de la France. Au XI^e^ siècle, ces moulins étaient devenus très communs, non seulement en France et en Allemagne, mais dans d'autres pays; leur destination ne se réduisait plus exclusivement à moudre du blé.

Néanmoins la construction des roues hydrauliques demeurait fort primitive. On ne parvint que longtemps après à acquérir des notions assez exactes relativement au mode d'action de l'eau et à poser des règles scientifiques pour la construction des appareils. Dans cet ordre d'idées, il y a lieu de mentionner d'abord les études théoriques de Parent (1704), puis celles de Borda (1766), les recherches expérimentales de Smeaton (1759) et de Bossut (1777), les essais dynamométriques de Morin (1828-1829), les travaux de Poncelet, de d'Aubusson (1840), de Redtenbacher (1846), de Weisbach, etc.

Au temps de Belidor (1735), le type de roues le plus usuel était la *roue en dessous à aubes planes*. Pour les très faibles débits, on se servait de *roues à pots*, recevant l'eau en dessus ou de côté; mais ces roues, dépourvues de manteau ou coursier circulaire, perdaient une bonne partie de la force motrice.

L'usage des roues à pots ou à *augets* paraît s'être généralisé vers la fin du XVIII^e^ siècle. Dès 1754, Deparcieux avait démontré que « l'eau « d'une chute destinée à faire mouvoir quelque machine, moulin ou

[1] Ces roues étaient probablement établies en pleine rivière. Les moulins à retenue ne paraissent avoir pris naissance que plus tard.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

« autre, peut toujours produire beaucoup plus d'effet en agissant par « son poids qu'en agissant par son choc »; il conseillait par suite les roues à pots de préférence aux roues à palettes. En Angleterre, le célèbre Smeaton fut de ceux qui s'occupèrent le plus activement de cette substitution, partout où cela était possible. C'est dans ce pays qu'ont été construites, au début du siècle, les premières roues en métal, notamment des roues à augets de grand diamètre, du type *à suspension*. A partir de 1825, W. Fairbairn, de Manchester, couvrit l'Europe de ses puissantes roues à augets, en fer et tôle.

Les *roues à augets en dessus* peuvent donner un effet utile considérable, lorsque les proportions et le tracé des augets ont été convenablement déterminés. Elles sont surtout avantageuses pour les chutes dont la hauteur est un peu grande. Afin d'éviter le versement prématuré des augets, on enveloppe parfois l'arc de versement d'un *manteau*, qui l'emboîte exactement.

Quand le niveau d'aval est sujet à des variations, la roue se trouve exposée à être noyée par le bas; il en résulte des pertes de puissance notables. En pareil cas, on donne souvent à la roue un diamètre supérieur à la hauteur de chute, on l'alimente par le côté et on la fait tourner de manière que sa partie inférieure se meuve dans le même sens que l'eau du canal de fuite : elle devient alors une *roue à augets de côté*. L'eau lui est fournie par une vanne en déversoir ou mieux par un vannage à persienne, permettant de régler à la fois les dimensions et la position de l'ouverture.

Les roues à augets de côté sont aussi employées, notamment en Angleterre et en Amérique, pour les faibles chutes ou les forts débits, lorsque le niveau du bief supérieur varie dans de larges limites.

Si la chute est trop basse pour comporter l'emploi d'une roue à augets, on a recours à la *roue de côté à aubes* ou *à palettes*, emboîtée le plus exactement possible dans un coursier circulaire partant du canal d'amenée; l'eau s'échappe de ce canal en déversoir ou par orifice chargé.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Dans les meilleures roues de côté, on perd une partie du travail de la chute par suite des chocs et des remous que l'eau éprouve en traversant la roue. En vue de remédier à cet inconvénient, Sagebien a construit une roue dite *roue-vanne*, qui figurait pour la première fois à l'Exposition universelle de 1855 et qui est caractérisée par une grande lenteur de marche. Indépendamment de son rendement fort élevé, la roue Sagebien, alimentée en déversoir par une lame très haute, a l'avantage de débiter beaucoup sur une largeur relativement faible et de fournir ainsi une puissance considérable. De nombreuses applications en ont été faites dans ces dernières années.

Lorsque, au lieu d'arriver de côté, l'eau arrive au bas de la roue, elle n'agit que par son choc et non plus par son poids : on a alors une *roue en dessous*. Ce système, probablement le plus ancien de tous, a trouvé longtemps des applications justifiées tant par sa simplicité que par la propriété des roues en dessous de prendre une vitesse supérieure à celle des autres roues et de livrer passage à un fort débit sur une faible largeur. D'après Poncelet, c'était, il y a une soixantaine d'années, le genre de moteurs hydrauliques le plus généralement employé en France.

Aujourd'hui les anciennes roues en dessous sont presque partout abandonnées, à cause de leur effet utile très faible comparé à celui des roues lentes de côté. Plusieurs savants, en particulier Deparcieux, Bossut, Fabre, avaient cherché les moyens d'accroître le rendement, mais n'étaient point parvenus à éviter les pertes de force vive dans le choc de l'eau contre les palettes. C'est pour conserver aux roues en dessous leurs avantages, tout en évitant les déperditions d'effet utile, que Poncelet a imaginé en 1823 le type de roues à aubes courbes qui porte son nom; la *roue Poncelet* donne un rendement au moins double de celui des meilleures roues à aubes planes et a été adoptée dans un grand nombre d'usines.

J'ai déjà mentionné les *roues pendantes* ou roues de bateau, dès

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

longtemps en usage sur le bord des grands cours d'eau, principalement de ceux dont le courant est assez rapide.

Colladon, de Genève, a modifié le système (antérieurement à 1855), en établissant des *roues flottantes*, qui suivent d'elles-mêmes les fluctuations du niveau. Ces roues peuvent recevoir une bien plus grande largeur que les roues pendantes. Leur axe se place quelquefois parallèlement au fil de l'eau; les palettes planes sont alors remplacées par une surface hélicoïdale continue.

3. Turbines. — Les roues hydrauliques à axe horizontal ne reçoivent l'eau que sur une petite partie de leur circonférence; elles sont dès lors volumineuses et tournent à des vitesses relativement faibles. De plus, la plupart fonctionnent presque entièrement hors d'eau; elles ne peuvent marcher que très peu noyées et craignent, en conséquence, les crues ainsi que les gelées.

Il est un genre de récepteurs qui, évitant une grande partie des inconvénients reprochés aux roues à axe horizontal, a pris une très large place dans l'utilisation des chutes d'eau : je veux parler des roues à axe vertical ou *turbines*.

Bien que connu depuis longtemps, ce système de récepteurs hydrauliques est resté peu répandu jusqu'au jour où d'habiles ingénieurs l'ont doté des améliorations nécessaires pour que son rendement fût comparable à celui des roues à axe horizontal. Telles que nous les connaissons actuellement, les turbines offrent de sérieux avantages pratiques. Elles s'accommodent à des chutes beaucoup plus élevées que les roues ordinaires; livrant passage à l'eau sur toute leur circonférence, elles ont un fort débit, sans être très volumineuses; ce débit peut d'ailleurs varier dans des limites étendues; enfin, moyennant des artifices bien connus, la machine subit les variations du niveau d'amont ou d'aval, sans que son effet utile en soit notablement affecté. Tels sont les motifs pour lesquels on préfère souvent les turbines aux roues à axe horizontal, même pour les chutes de faible hauteur, malgré la délicatesse plus grande de leurs organes et la précision que réclame leur exécution.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'habitude de moudre le blé entre des meules horizontales a sans doute conduit de bonne heure à adopter également la position horizontale pour les roues motrices : en effet le moyen le plus simple de conduire la meule courante est incontestablement de la fixer sur l'axe même d'un récepteur hydraulique horizontal. Des moulins montés de cette manière existent, depuis plus de trois siècles, dans certaines régions et particulièrement dans le midi de la France. Quelques-unes des roues à axe vertical en usage au siècle dernier ont été décrites par Belidor, dans son *Architecture hydraulique :* ce sont la *roue à cuillers* et la *roue à cuve,* mises en mouvement sous l'action du choc de l'eau contre des palettes droites ou courbes. De ces deux types, le premier, qui était aussi le plus primitif, a été très commun dans les pays montagneux de l'Europe méridionale; on en trouve des spécimens jusque sur la terre algérienne. Le second marquait déjà un certain progrès et constituait, tout au moins par son aspect, comme le précurseur des turbines modernes; il est resté longtemps en usage dans beaucoup de localités. Parmi les anciens récepteurs à axe vertical se rangeaient également les *roues à poire* et les *danaïdes,* dont il n'existe plus guère d'exemple.

Ces récepteurs, où l'eau agit par choc, ont un rendement très faible. Dès le siècle dernier, les savants s'étaient préoccupés de créer des moteurs où l'eau fût mieux utilisée, par l'application du principe de la *réaction.* En 1750, Segner avait inventé une machine mise ainsi en mouvement par la réaction de l'eau et présentant une grande analogie avec le *tourniquet hydraulique.* Ses recherches furent continuées par Euler, qui, après avoir étudié la question au point de vue théorique, proposa en 1754 une *roue à réaction* perfectionnée. Depuis, de nombreux appareils fondés sur le même principe ont été mis au jour; parmi les plus connus, il convient de citer le *levier hydraulique* ou *volant* de Mannoury Dectot (1807) et la *roue à réaction* de Burdin (1824).

Les anciennes roues à réaction se sont vues à peu près complètement abandonnées, de même que les roues à choc, et ont fait place aux *turbines.* Dans ces moteurs, l'eau agit par sa réaction sur des surfaces

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

invariablement fixées à la roue et le long desquelles elle se meut; admise autant que possible sans choc, elle doit sortir sans vitesse.

On peut dire que les turbines modernes sont nées de toutes pièces des indications de la théorie. Sans remonter aux travaux de Borda sur les roues horizontales à palettes courbes (1767), il est permis d'attribuer à Burdin l'indication très nette des principes qui servent aujourd'hui de base à la construction des récepteurs horizontaux. Dès 1832, Fourneyron, appliquant les données de Burdin, put réaliser presque d'emblée les remarquables résultats prévus par cet ingénieur. La turbine était créée dans ses parties essentielles, et les améliorations postérieures ont eu pour objet bien plutôt les détails que les assises mêmes de son fonctionnement.

D'illustres mécaniciens, comme Poncelet (1838), ont apporté leur concours à la théorie mathématique des turbines, qui est arrivée à un haut degré de précision. Des ingénieurs distingués se sont attachés à en perfectionner les dispositions, à les varier, à les adapter aux conditions très diverses de chute et de vitesse qui se présentent dans les applications industrielles. Parmi ceux qui ont pris la plus large part aux progrès récents, il n'est que juste de citer C. Callon et D. Girard; on leur doit l'idée de laisser la veine liquide, sortant des cloisons directrices, s'épanouir librement au contact de l'air dans les canaux mobiles : ainsi sont nées les turbines dites *à libre déviation*, par opposition aux turbines *à réaction*, où les canaux adducteurs fixes et les canaux mobiles peuvent être considérés comme faisant partie d'une conduite continue. D. Girard est aussi l'auteur de l'*hydropneumatisation*, système qui consiste à placer la roue sous une sorte de cloche à plongeur, afin d'en éviter l'immersion dans l'eau du bief inférieur. L'hydropneumatisation se rattache étroitement à la question du *vannage* ou du réglage des turbines : ce réglage, dont l'objet est de faire varier la puissance de la turbine proportionnellement au travail à effectuer, peut se réaliser soit en étranglant plus ou moins l'ensemble des orifices adducteurs, soit en couvrant et découvrant un nombre plus ou moins grand d'orifices, mais en laissant chacun d'eux entièrement ouvert ou entièrement fermé. De ces deux modes de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

réglage, le second dit *par vannage partiel* a constitué un sérieux perfectionnement; pour produire son maximum d'effet, il exige l'hydropneumatisation.

Malgré la diversité des dispositions adoptées par les constructeurs, les turbines que l'on rencontre habituellement en Europe se rapportent à deux types principaux : celui de la turbine *centrifuge* et celui de la turbine *parallèle*, ainsi désignées d'après la manière dont l'eau y circule. Les turbines centrifuges portent aussi la dénomination de *turbines Fourneyron*. C'est Euler qui a eu le premier l'idée des turbines parallèles; le constructeur *Fontaine* les a propagées et perfectionnées : aussi sont-elles connues sous son nom. A la première catégorie se rattachent la turbine P. Callon (1840), qui diffère de celle de Fourneyron en ce qu'on y rencontre, pour la première fois, l'application des deux principes du vannage partiel et de la libre déviation; la turbine Canson ou turbine rurale (1847), qui a eu son heure de succès; la turbine Cadiat; etc. Dans la seconde catégorie se rangent la turbine Jonval (1841), perfectionnée par Kœchlin; la turbine Girard; etc.

Une disposition plus récente est celle des turbines *centripètes*. La première turbine de ce genre qui soit réellement entrée dans la pratique a été celle de J. Thomson; elle compte, depuis une trentaine d'années, d'assez nombreuses applications, surtout pour les fortes charges.

Les turbines *mixtes* ne sont guère usitées qu'aux États-Unis. En revanche, elles s'y rencontrent en nombre très considérable; presque toutes les nouvelles turbines américaines présentent en effet des dispositions telles que l'eau entre dans une direction centripète et s'échappe en partie parallèlement à l'axe de la roue. Une des plus répandues est la turbine Leffel. La majorité des turbines américaines récentes se distinguent par l'économie rustique et bien entendue de leur ensemble, par la facilité et le bon marché de leur installation. Ajoutons que les grandes manufactures des États-Unis ont adopté des procédés avantageux de fabrication par séries; elles sont ainsi en mesure de livrer

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

couramment et à bas prix des appareils qui ne se font encore chez nous que par occasion et à des prix plus élevés.

Beaucoup de turbines peuvent marcher, soit avec leur axe vertical, soit avec leur axe horizontal. La position de l'axe n'amène aucun changement essentiel ni dans la théorie de la roue, ni même dans ses dispositions principales; elle ne constitue, en quelque sorte, qu'un accident d'importance secondaire. Certaines raisons peuvent faire préférer l'horizontalité de l'axe. Je citerai la simplification des organes de transmission, la possibilité d'accroître économiquement et commodément le diamètre de la roue, la diminution qui en résulte dans le nombre de tours par minute, la suppression du pivot toujours moins facile à entretenir en bon état que des tourillons.

On a employé les turbines à axe horizontal pour de forts débits et de petites chutes : c'est pour ce cas qu'ont été créées par exemple les *roues-turbines* de D. Girard et la *roue-hélice* ou turbine sans directrices du même ingénieur. Des applications en sont faites aussi, notamment en Suisse et dans les mines d'Allemagne, pour de faibles débits sous une forte chute.

L'utilisation de plus en plus répandue des chutes de grande hauteur mérite d'être signalée. On ne craint pas actuellement d'aborder les chutes de 100, 200 et même 500 mètres, qui existent dans les pays montagneux et qui donnent, sous un faible débit, un travail moteur considérable. Ces chutes élevées demandent des turbines spécialement étudiées pour leur emploi. Les constructeurs sont parvenus à bien résoudre le problème et à établir des moteurs excellents, qui tournent à grande vitesse et auxquels leur construction très précise assure un rendement fort satisfaisant.

C'est surtout en Suisse que s'est développée l'utilisation des chutes de très forte hauteur. Les petites turbines y sont assez communes, à titre de moteurs domestiques alimentés par l'eau sous pression que la configuration du pays permet de distribuer à bon compte dans certaines villes. Généralement ces appareils ont leur axe horizontal;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ils peuvent actionner directement des dynamos pour l'éclairage électrique.

A l'Exposition de 1889, on remarquait un spécimen de grande turbine centrifuge à axe horizontal, montée sur une chute de 600 mètres dans le département de l'Isère, ainsi que l'une des turbines Girard à axe horizontal qui actionnent les pompes élévatoires de la Chaux-de-Fonds.

4. Récepteurs hydrauliques divers. Machines à colonne d'eau ou à pression d'eau. — Malgré leur prédominance, les roues à axe horizontal et les turbines ne sont pas les seuls moteurs susceptibles d'être utilement employés. Les balances d'eau, les machines à colonne d'eau surtout, sans tenir une place considérable dans l'ensemble de l'industrie, n'en ont pas moins encore quelque importance, spécialement pour l'exploitation des mines et la métallurgie.

Un mot seulement des *balances d'eau,* dont l'usage est peu fréquent en dehors de certains cas particuliers. Ces appareils fournissent un travail essentiellement intermittent et ne peuvent servir qu'à vaincre des résistances de même nature, par exemple à élever des fardeaux. Ils ne sont pas nouveaux : en 1737, Belidor décrivait une machine servant à élever l'eau à l'aide d'une chute et constituant une véritable balance d'eau; il en attribuait l'invention à G. Finugio (1616).

A la même classe de moteurs appartiennent les *balanciers hydrauliques,* qui prennent un mouvement oscillatoire autour d'un axe, en utilisant de faibles volumes d'eau sous de petites chutes.

La *machine à colonne d'eau* agit en quelque sorte comme une pompe renversée. On peut aussi l'assimiler à une machine à vapeur, qui fonctionnerait sans détente ni condensation, et où la vapeur serait remplacée par un égal volume d'eau sous la même pression.

Dans son *Architecture hydraulique*, Belidor faisait connaître une machine inventée par Denisard et de la Deuille, qui avait joué « avec un « succès merveilleux » devant les membres de l'Académie des sciences à Sèvres (1731) et qui n'était autre qu'une machine à colonne d'eau

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à simple effet. A son tour, il imaginait quelques années plus tard une machine différente par la structure, mais fondée sur un principe analogue, « pour élever aussi haut que l'on voudrait l'eau d'une chute « au-dessus de son niveau ».

Néanmoins ces essais ne paraissent avoir été suivis d'aucune application, et la machine à colonne d'eau fut réinventée presque simultanément par Höll en Hongrie (1749), par Winterschmidt en Allemagne (1751) et par Westgarth en Angleterre (1765). Elle se répandit dans les mines de Hongrie et de Carinthie, plus tard en Saxe. Mais ses dispositions ne devinrent tout à fait pratiques qu'au commencement de ce siècle, grâce aux perfectionnements réalisés par l'ingénieur bavarois G. von Reichenbach (1808), notamment dans le mode de distribution.

Au début, la machine à colonne d'eau était presque exclusivement appliquée à l'épuisement des mines; elle offre en effet l'avantage d'actionner directement les tiges des pompes. Un certain nombre d'appareils servant à cet usage existent encore dans les mines de Hongrie et du Harz.

Depuis une cinquantaine d'années, les applications de la machine à colonne d'eau se sont remarquablement étendues. W. Armstrong commença, dès 1846, à en répandre l'emploi dans les mines métalliques du nord de l'Angleterre, non seulement pour faire mouvoir des pompes, mais aussi pour extraire les minerais et pour remplir l'office de machines ordinaires de rotation commandant des ateliers de préparation mécanique[1]. La première machine à colonne d'eau et à rotation d'Armstrong parut à l'Exposition de 1851.

Pour mettre en action ses moteurs, Armstrong tirait d'abord parti des chutes d'eau naturelles. Mais la charge d'eau nécessaire peut aussi bien être réalisée artificiellement, comme cela a lieu dans la *presse hydraulique*, cet outil merveilleux de simplicité et de puissance, qui fut inventé, dit-on, par Pascal, mais qui ne prit définitivement sa place dans l'industrie que le jour où le cuir embouti de Bramah eut

[1] Sur le continent, les machines à colonne d'eau avaient été employées à la mise en mouvement de bocards, dès 1832.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

permis de tenir étanche le joint du piston. Dans la presse hydraulique, la main de l'ouvrier, agissant sur la pompe de pression, parcourt un chemin considérable en exerçant un faible effort; le travail ainsi développé est transmis par l'eau au piston de la presse; celui-ci, à l'inverse du piston de la pompe, ne parcourt qu'un très petit espace, mais exerce un grand effort. Quand une usine a de nombreuses pressées à faire, ce qui est le cas des fabriques d'huile, de bougies, etc., le service est assuré au moyen d'une série de presses hydrauliques mises en relation, par une canalisation, avec une batterie de pompes foulantes, qu'actionne la vapeur; une simple manœuvre de robinet suffit pour faire agir chaque presse, au moment voulu.

Il y a une trentaine d'années, W. Armstrong eut l'idée d'étendre largement ce système à toutes les manœuvres de force nécessaires sur les différents points des plus vastes ateliers : il proposa d'employer l'eau sous pression comme moteur et les presses comme appareils récepteurs pour manutentionner les marchandises dans les ports, dans les docks, dans les gares de chemin de fer. Jusqu'alors cette manutention s'effectuait soit à bras, soit à l'aide de la vapeur. La substitution de la vapeur à l'homme avait déjà constitué un grand progrès; toutefois la multiplicité des appareils à vapeur, exigeant chacun des mécaniciens et des chauffeurs, était embarrassante et coûteuse, en même temps qu'elle créait des dangers d'incendie; de plus, malgré l'intermittence de fonctionnement des appareils de manœuvre, il fallait, pour ne pas apporter de retard dans les opérations, chauffer d'une manière continue tous les générateurs, ce qui entraînait des dépenses élevées. Armstrong jugea avec raison qu'en concentrant et en rendant continue la production de la puissance à dépenser par intermittence sur un grand nombre de points plus ou moins éloignés les uns des autres, il réaliserait de sérieux avantages, au point de vue de l'entretien des appareils ainsi que de la dépense en main-d'œuvre et en combustible. L'ingénieur anglais résolut ce double problème de l'emmagasinement et de la répartition du travail par l'emploi d'une machine motrice centrale à vapeur fournissant à tous les appa-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

reils de manœuvre, au moyen d'une canalisation, l'eau sous pression nécessaire à leur fonctionnement.

Primitivement il avait fait usage de l'eau sous pression distribuée dans les villes, ou établi, comme à Great-Grimsby, un réservoir très élevé qu'alimentait constamment une machine à vapeur. Mais la pression était trop faible et le volume des appareils hydrauliques trop considérable. Armstrong modifia bientôt le système en portant la charge d'eau à 400, 500 et même 1,000 mètres; ces hautes pressions réduisaient notablement les dimensions, le poids et les dépenses d'installation des machines aussi bien que des conduites; leur emploi fut rendu possible par l'invention des *accumulateurs*.

On connaît le principe des accumulateurs. Ce sont de simples presses dont le piston porte une charge énorme. La machine motrice centrale n'a d'autre travail à accomplir que de comprimer l'eau dans ces réservoirs de pression, où elle s'emmagasine pour se dépenser au moment voulu; il suffit d'une machine à vapeur de faible puissance, capable seulement de subvenir au travail moyen réparti sur une longue durée.

Quant aux appareils utilisant l'eau des accumulateurs, ils présentent une extrême variété. Les applications du système Armstrong ont pris en effet un singulier développement depuis les expositions de 1862 et 1867, où les appareils à eau comprimée firent leur première apparition. Outre la manutention des fardeaux, ces appareils font aujourd'hui toutes les manœuvres accessoires qui s'imposent dans un port ou sur un quai de chargement: ouverture ou fermeture de portes d'écluse, manœuvre de ponts tournants ou de plaques tournantes, halage de navires sur des cales sèches, etc. Le système hydraulique a été également appliqué avec succès à la manœuvre des canons monstres de la marine, des tourelles qui les protègent, des cornues Bessemer, et en général aux manœuvres de force à exécuter d'une façon intermittente dans les arsenaux et les ateliers industriels. Il a même envahi les maisons particulières, où il actionne les ascenseurs et diverses machines pour les usages domestiques ou pour la petite industrie.

Les récepteurs hydrauliques dont il s'agit sont en principe de véri-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tables machines à colonne d'eau ou à pression d'eau; le mouvement y est produit par l'action sur un piston mobile de l'eau en pression venant des accumulateurs. Ils se caractérisent par la simplicité de leur mécanisme, la commodité et la précision de leur manœuvre. Ce sont des appareils puissants sous un volume restreint, surtout si l'on fait usage d'eau à très haute pression, conformément à la pratique habituelle.

Certains récepteurs sont à action directe et consistent en des presses hydrauliques ordinaires. Leurs applications se diversifient à l'infini : on les emploie surtout à soulever le gros matériel (wagons, locomotives, chaudières marines, ponts tournants), à haler les navires sur des plans inclinés, à manœuvrer des vannes d'écluse, etc. Dans l'industrie, l'usage de la presse hydraulique s'étend de jour en jour, en même temps qu'augmente sa puissance : les industriels s'en servent pour la fabrication de l'huile, la céramique, la métallurgie; ils l'utilisent pour le cisaillage des métaux, pour le poinçonnage, pour l'emboutissage, pour le forgeage, pour le dressage, pour la rivure. En 1878, l'exposition de l'ingénieur Tweddell montrait toutes les facilités, tous les avantages de sûreté et d'économie qu'elle apporte au travail des métaux; en 1889, les expositions de la maison Piat et de la *Leeds forge Company* ont montré les beaux résultats ainsi obtenus. La riveuse hydraulique est un outil précieux, spécialement pour les constructions navales.

Dans une autre catégorie de récepteurs hydrauliques, le piston plongeur agit par l'intermédiaire d'une chaîne passant sur des moufles : tel est le cas des grues, de certains élévateurs, des appareils faisant mouvoir les plaques tournantes, etc.

Les appareils de rotation sont habituellement établis suivant trois types : 1° avec un seul cylindre à double effet, comme la plupart des machines à vapeur; 2° avec deux cylindres conjugués à double effet, ayant leurs manivelles à angle droit; 3° avec trois cylindres conjugués à simple effet, ayant leurs manivelles à 120 degrés, comme le moteur Brotherhood. Ce dernier type est celui auquel paraît s'être définitivement arrêté Armstrong; il est principalement usité pour la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

commande des treuils et des cabestans, parfois pour la conduite des arbres de transmission (monte-charge). Un des appareils de rotation les plus répandus, à titre de moteur domestique, est le moteur Schmid, à cylindre oscillant.

A côté de leurs propriétés précieuses, les moteurs à colonne d'eau ont un défaut sérieux. Pour chaque coup de piston, ils dépensent un volume d'eau déterminé, quelle que soit la résistance. Depuis que leur emploi s'est vulgarisé, les inconvénients de cette perte de puissance motrice sont apparus plus nettement, et des recherches ont été entreprises en vue d'économiser l'eau comprimée. Un artifice fort simple consiste à donner à la tige du piston une section se rapprochant de celle de cet organe et à introduire l'eau, soit sous le piston seulement, soit à la fois sur les deux faces, suivant qu'on veut avoir une grande ou une faible puissance (appareils à *double pouvoir*). Pour les machines de rotation, le problème de la variation de dépense d'eau proportionnellement au travail résistant a beaucoup exercé l'imagination des constructeurs : parmi les solutions les plus intéressantes, je citerai la machine Samain, qui a paru à l'Exposition de 1889.

Depuis quelques années, les récepteurs hydrauliques ont notablement progressé au point de vue de la légèreté; on est même parvenu à les rendre très mobiles, ce qui en facilite l'emploi et en multiplie les usages (grues hydrauliques roulantes, riveuses hydrauliques portatives).

§ 5. Machines hydrauliques élévatoires.

1. Observations générales. — Si l'on suppose renversé dans le sens de son mouvement chacun des récepteurs hydrauliques précédemment étudiés, il transmettra du travail moteur à l'eau au lieu de lui en emprunter. Le même appareil peut être ainsi considéré indifféremment comme capable, moyennant des changements de détail appropriés, d'agir sur de l'eau pour l'élever ou d'être actionné par de l'eau qui descend. C'est de cette façon que les roues à augets trouvent leur analogue, et pour ainsi dire leur appareil réciproque, dans les roues à godets, les turbines dans les pompes centrifuges; de même

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les balances d'eau correspondent aux norias, aux chapelets, etc., et les machines à colonne d'eau aux pompes ordinaires à piston.

Le problème de l'élévation des eaux est de ceux qui ont le plus mis en éveil la sagacité des inventeurs; il a reçu un si grand nombre de solutions que je devrai me borner à signaler les principales. Je laisserai d'ailleurs de côté les appareils dans lesquels la machine élévatoire est commandée par une machine à vapeur formant avec elle un tout indécomposable : ces appareils ont été déjà examinés sous la dénomination de *pompes à vapeur*. Nous ne nous occuperons pas davantage des machines élévatoires consacrées exclusivement à des usages spéciaux (pompes purement agricoles, pompes à vin ou à bière, etc.).

2. Pompes à piston animé d'un mouvement alternatif. — Malgré les perfectionnements apportés aux autres systèmes, ce sont encore les pompes à piston animé d'un mouvement alternatif que l'on préfère dans l'immense majorité des cas.

La pompe ordinaire à piston est probablement une invention grecque. Vitruve cite une pompe composée de deux cylindres à simple effet, avec pistons pleins agissant par aspiration et refoulement, dont il attribue la création au Grec Ctesibius (150 avant J.-C.). Un élève de ce dernier, Héron d'Alexandrie, mentionne l'emploi de la pompe aspirante et foulante à deux corps, dans laquelle les deux tiges de piston s'articulent aux extrémités du même balancier, comme dans la pompe à incendie moderne.

D'après les ouvrages de Mathesios (*Bergpostille oder Sarepta,* Nürnberg, 1587) et d'Agricola (*De re metallica,* Basiliae, 1621), il semble que l'Erzgebirge soit la région où l'on ait employé pour la première fois à l'épuisement des mines les pompes à piston, en remplacement des seaux et des norias : c'étaient des pompes aspirantes en bois, munies de pistons à soupape et disposées en cascade les unes au-dessus des autres.

En 1674 se place une invention capitale pour les pompes à grande hauteur de refoulement, celle du *piston plongeur,* par lequel

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

S. Morland remplaça le piston ordinaire à garniture de chanvre ou de cuir.

Jusqu'au commencement du XVIII^e^ siècle, les seules pompes à double effet étaient des pompes à deux cylindres conjugués, dérivant plus ou moins directement de celle de Ctesibius. Philippe de la Hire réussit, en 1716, à combiner une pompe à un seul corps et à double effet; elle était à piston plein et fonctionnait par le jeu de quatre soupapes. Depuis, les pompes ont été l'objet de très nombreuses modifications.

Actuellement les pompes à simple effet comportent toujours, comme organes essentiels, un piston se mouvant dans un cylindre et deux soupapes s'ouvrant dans le sens de l'ascension de l'eau; l'intervalle entre ces deux soupapes communique avec le cylindre. Quand le piston est à double effet, il y a deux jeux de soupapes, dont chacun correspond à l'un des fonds du cylindre. Les dispositions de ces divers organes varient d'ailleurs suivant l'usage auquel la pompe est destinée.

En général, le cylindre et le piston sont métalliques. La garniture du piston est souvent en étoupes ou en cuir gras; dès que la pression devient un peu considérable, on a recours au cuir embouti de Bramah. Pour les grandes hauteurs de refoulement, le piston plongeur est presque exclusivement employé.

Autrefois il paraissait indispensable de ne donner au piston des grandes machines élévatoires qu'une vitesse très modérée, de manière à éviter les chocs et les remous qui absorbent en pure perte beaucoup de travail et compromettent les organes. Maintenant on ne craint plus de lui imprimer des vitesses comparables à celles des pistons à vapeur, ce qui a permis de réduire les dimensions des appareils et de simplifier les transmissions. Pour atteindre ce résultat, il a fallu modifier les formes du plongeur, l'effiler, lui attribuer un diamètre très inférieur à celui du cylindre; les passages d'eau et les soupapes ont reçu des proportions qui rendent les pertes de force vive aussi faibles que possible; ces fortes dimensions des clapets, comparées au diamètre relativement restreint du plongeur, donnent aux pompes modernes une physionomie caractéristique.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

On adapte aux pompes ordinaires des soupapes en cuir, telles que celles des pompes Letestu, ou des soupapes en caoutchouc. Quand la pression de refoulement est grande, les soupapes métalliques sont seules acceptables; pour les pompes alimentaires, l'ancienne soupape à boulet est encore en usage, mais elle tend à céder la place à la soupape conique. Les clapets à ressorts imaginés par D. Girard rendent d'excellents services dans les grands appareils élévatoires; on fait souvent des clapets de ce genre à plusieurs sièges concentriques.

Des réservoirs d'air, ayant pour but de régulariser la vitesse ascensionnelle, sont ordinairement disposés au départ de la conduite de refoulement et quelquefois aussi sur la conduite d'aspiration. Les constructeurs s'attachent d'ailleurs à rendre uniforme le mouvement de la colonne d'eau ascendante, indépendamment de l'action du réservoir d'air.

Par leur hauteur d'aspiration, surtout par leur hauteur de refoulement, par la longueur de leurs conduites ascensionnelles et par l'énormité de leur débit, les puissantes machines installées pour l'alimentation des villes et des canaux résument la plupart des difficultés qui se présentent dans l'élévation des eaux. D'habiles hydrauliciens ont consacré leur talent à résoudre les problèmes soulevés par les installations de cette nature; au premier rang se place D. Girard. Les pompes de cet ingénieur, avec clapets à ressort, sont, depuis une quinzaine d'années, en très grande faveur; deux pompes perfectionnées de ce système fonctionnaient à l'Exposition de 1889, l'une pour le service de l'Exposition, l'autre pour les ascenseurs de la Tour.

La construction des petites pompes se fait sur des données mécaniques qui sont les mêmes que celles de grands appareils élévatoires. Mais ici le rendement n'est plus l'élément principal, et des considérations d'un autre ordre interviennent. Ainsi, pour les pompes d'usine, on cherche en général à réduire au minimum les frais d'installation et d'entretien. Les pompes domestiques et les appareils analogues se fabriquent aujourd'hui à très bon marché, quelquefois même à trop bon marché, l'économie étant obtenue aux dépens de la solidité et du bon fonctionnement des organes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Avant de quitter les pompes à piston animé d'un mouvement alternatif, il me reste à mentionner un genre de pompes qui s'y rattache par son mode d'action : c'est la pompe *à soufflet,* dans laquelle une membrane flexible remplace le piston et fait manœuvrer, par son déplacement alternatif, les soupapes d'entrée et de sortie. D'origine fort ancienne, la pompe à soufflet a été assez répandue en France au siècle dernier; l'un de ses meilleurs modèles était celui de Gosset et de la Deuille, dit *pompe à piston sans frottement* (1732). Dans la même catégorie d'appareils se range la pompe dite *des prêtres.* Aujourd'hui la pompe à soufflet a presque entièrement disparu.

3. Pompes rotatives. — Les pompes rotatives de quelque valeur pratique ne remontent guère au delà du XVII^e^ siècle. Elles se divisent en deux classes, suivant qu'elles comportent un seul axe ou deux axes de rotation. Des ouvrages du XVII^e^ siècle décrivent une pompe rotative à deux axes, faite de deux roues d'engrenages qu'enveloppaient exactement deux portions de cylindre; cet appareil était connu sous le nom de *Machina Pappenheimiania.* Le *Theatrum machinarum hydraulicarum* de Leupold (Leipzig, 1724) contient, d'autre part, la description d'une pompe rotative à axe unique, dont l'auteur attribuait l'invention au prince Rupert (1619-1682) et qui présentait un tambour à palette glissante, excentré par rapport à un corps de pompe cylindrique, à peu près comme la pompe rotative mentionnée par Ramelli dès la fin du XVI^e^ siècle (*Le diverse et artificiose machine del cap^no^ A. Ramelli,* 1588). Ces deux types primitifs ont été le point de départ de la plupart des pompes rotatives modernes, qui les reproduisent avec divers perfectionnements.

Le principe de la pompe à engrenages se prête aux combinaisons les plus variées et a engendré toute une série de types. Ce fut en 1840 la pompe Repsold, puis à l'Exposition de 1855 la pompe Leclerc, plus tard à l'Exposition de 1867 la pompe Behrens (dont on pouvait rapprocher la machine soufflante de Roots et le ventilateur d'Évrard), enfin à l'Exposition de 1878 la pompe Greindl, pouvant aussi servir de pompe à gaz ou même de machine motrice et partageant d'ailleurs

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cette dernière propriété avec la plupart des pompes dans lesquelles la distribution est faite par des organes rigides.

Presque toutes les pompes à un axe ont pour organe principal une palette qui tourne autour d'un axe placé excentriquement dans l'intérieur d'une capacité cylindrique et qui peut s'allonger ou se raccourcir de telle sorte que ses extrémités soient toujours en contact parfait avec la paroi intérieure du corps de pompe. Elles donnent en général un assez bon débit; mais le frottement des organes et l'emploi des ressorts ou des excentriques dans la structure des palettes entraînent des inconvénients que les constructeurs ne sont pas encore parvenus à faire disparaître. Il est difficile aussi d'éviter les effets destructeurs dus à la compression de l'eau confinée. Parmi les pompes à un axe les plus connues, citons les pompes Érémac, Bartrum et Powell, Ortmans.

Aujourd'hui les pompes rotatives paraissent de plus en plus abandonnées, si ce n'est comme pompes domestiques.

4. Pompes à chapelet, norias, roues à palettes, tympans, vis, écopes, etc. — Les chapelets, norias et autres machines analogues sont fort usités pour le puisage de l'eau à de faibles profondeurs, dans les pays qui se trouvent loin des centres de population et qui offrent peu de ressources pour les réparations. Ces appareils ont une origine des plus anciennes et leur structure ne s'est pas sensiblement modifiée à l'époque contemporaine.

On sait que la *pompe à chapelet* se compose d'une chaîne sans fin, enroulée sur deux poulies et portant une série de palettes qui, dans leur course ascendante, s'engagent l'une après l'autre à l'intérieur d'un tuyau vertical et y déterminent le mouvement du liquide. Les chapelets inclinés sont, depuis un temps immémorial, les appareils élévatoires le plus répandus en Chine. Quant au chapelet vertical, il est mentionné dans l'ouvrage d'Agricola. En Angleterre, les chapelets verticaux ou inclinés conservent d'assez fréquentes applications.

Vitruve décrivait déjà la *chaîne à godets*, qui a longtemps constitué, avec le chapelet, la classe la plus commune d'engins d'épuisement. La

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

chaîne à godets est très employée dans l'Inde, en Égypte, en Espagne, où elle a été vraisemblablement introduite par les Arabes et où elle a pris le nom de *noria*. Une noria bien construite peut avoir un rendement aussi élevé que les bonnes pompes.

Analogues aux chaînes à godets, les *roues à godets* ont sur celles-ci l'avantage de ne pas perdre autant de force par les frottements. La Chine paraît en avoir fait usage de toute antiquité. Elles sont parfois mues par des roues hydrauliques ou jouent en même temps le rôle de roues motrices; l'*Architecture* de Vitruve fournit un exemple de cette dernière disposition, qui se retrouve actuellement en Espagne. Dès le XVIII^e^ siècle, on a cherché à perfectionner ces roues, en substituant aux godets fixes des godets mobiles autour d'un pivot.

La *roue à palettes*, encore assez usuelle pour l'asséchement des polders dans les Pays-Bas, semble être une invention hollandaise antérieure au XVIII^e^ siècle. Tandis que les types anglais et français sont actionnés par une machine à vapeur, l'ancien type hollandais était et est encore attelé aux moulins à vent. Une des applications les plus récentes de la roue à palettes est l'emploi de la roue Sagebien pour élever les eaux destinées à l'irrigation du Béhéra (usine de l'Afteh, Basse-Égypte).

Plus rarement utilisé, le *tympan* peut être mis en mouvement soit par la vapeur, soit par des roues pendantes, comme cela a lieu sur le bas Rhône. Le tympan moderne diffère complètement du tympan ancien ou *tympan de Vitruve;* il est dû à Lafaye (1717) et à Perronet; Cavé a été l'un des initiateurs des tympans entièrement métalliques.

Les *vis hydrauliques* rendent de bons services pour les desséchements. Archimède en a la paternité. Les anciennes vis étaient à enveloppe adhérente, tandis que les vis hollandaises modernes sont à enveloppe indépendante.

Mentionnons pour mémoire les appareils primitifs tels que *cigognes*, chadoufs, picotes, etc., encore en usage dans l'Inde, en Chine, en Égypte, en Espagne, en Italie, en Provence, et qui ont sans doute été les seuls appareils élévatoires des vieux peuples agriculteurs.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Passons également, sans nous y arrêter, sur les diverses sortes d'*écopes*, écope hollandaise, auge à soupape, etc., et bornons-nous à rappeler qu'on a construit dans le Lincolnshire de grandes écopes à vapeur destinées aux épuisements. Les *seaux* mus par un treuil à bras ou un manège sont toujours fort employés.

5. Pompes centrifuges. — Dans les machines hydrauliques élévatoires que nous venons de passer en revue, l'eau ne prend que de faibles vitesses; le fonctionnement de l'appareil est pour ainsi dire statique. Au contraire, dans les *pompes centrifuges*, c'est la vitesse imprimée à l'eau qui lui fait surmonter la pression à laquelle elle est soumise et qui détermine son mouvement ascensionnel.

Une des premières machines de cette espèce paraît être l'appareil inventé par Johann Jordan, de Stuttgard, et nommé par lui *Rotatilis suctor atque pressor*, appareil que représente une planche gravée en 1672. Peu après, D. Papin imaginait à son tour une pompe centrifuge, la *pompe de Hesse*, dont il donna l'explication dans les *Acta eruditorum* de Leipzig (1689). Pour compléter ces indications sur les origines de la pompe centrifuge, je dois encore rappeler que le *Recueil des machines approuvées par l'Académie des sciences* pour l'année 1732 décrit deux pompes basées sur l'action de la force centrifuge : l'une, indiquée par Demour, n'est autre que la roue à réaction de Segner renversée; l'autre, « machine pour élever de l'eau par une « force centrifuge », se rapproche davantage de la pompe centrifuge actuelle.

Les premières pompes centrifuges qui aient fonctionné industriellement furent celles qu'Appold commença à construire en Angleterre vers 1848 et qui servirent d'abord aux desséchements. Appold adopta au début des ailettes planes, qu'il ne tarda pas à remplacer par des ailettes courbes. Plusieurs autres constructeurs, Gwynne, Dumont, Coignard, etc., se consacrèrent bientôt à l'étude et à l'établissement des pompes centrifuges; de nombreuses améliorations purent être réalisées, et le rendement, jusqu'alors assez faible, devint comparable à celui des pompes à piston. Lors de l'Exposition de 1867, les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pompes centrifuges eurent un grand succès; depuis, leurs applications n'ont fait que se multiplier et croître en importance.

Parmi les avantages de ces pompes, le principal réside dans leur légèreté et leur petit volume, même pour les débits considérables. Elles se transportent et se montent facilement, peuvent sans inconvénient livrer passage aux eaux chargées de sable et de gravier, et ne comportent pas d'organes délicats ou capricieux. On y a surtout recours, quand il s'agit d'élever un fort volume d'eau à une hauteur modérée; leur service est particulièrement économique dans les installations provisoires. Elles sont devenues l'outil ordinaire d'épuisement sur les chantiers de travaux publics. On voyait à l'Exposition de 1889 le modèle de l'une des sept immenses pompes centrifuges à axe vertical qui fonctionnent à l'usine du Khatatbeh (Basse-Égypte), la plus grosse usine connue actuellement pour l'élévation des eaux d'irrigation, après celle de l'Afteh.

Divers constructeurs établissent les pompes centrifuges avec une assez grande perfection. Cependant, malgré les excellents résultats pratiques que donnent ces appareils, leur théorie est restée fort incomplète.

6. Bélier hydraulique. — Le bélier hydraulique, inventé par J.-M. de Montgolfier en 1777 [1], réunit dans un même appareil le moteur et la machine élévatoire, en empruntant la puissance motrice de l'eau en mouvement.

Il est inutile de rappeler ici le principe bien connu de cet appareil, qui a été perfectionné par de Caligny, par Andral et Courbebaisse, et surtout par Bollée. En 1867, le bélier hydraulique de Bollée fut très remarqué. Le seul progrès à signaler depuis cette époque consiste dans l'accroissement notable des dimensions et par suite de la puissance du bélier.

7. Appareils divers. — Parmi les machines élévatoires d'un

[1] Les Anglais attribuent cette invention à Whitehurst (1772).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

emploi plus restreint, je citerai la *fontaine de Héron*, dont une application a été faite par Höll aux mines de Schemnitz (1753); la *pompe spirale* de Wirz (1746); la *pompe conique* sans piston ni soupapes de M. de Caligny, élevant l'eau dans un tube vertical animé d'un mouvement alternatif; la pompe Nagel (1865), qui utilise l'entraînement produit par un courant d'eau.

Cette nomenclature est du reste loin d'être complète. Car peu de problèmes ont autant sollicité l'esprit d'invention que celui de l'élévation des eaux.

§ 6. Air en mouvement. Air comprimé.

1. Moulins à vent. — Pendant longtemps, les moulins à vent ont rendu de grands services dans les pays où les chutes d'eau faisaient défaut. Mais aujourd'hui la puissance souple et docile de la vapeur a remplacé presque partout la puissance capricieuse du vent.

L'origine des moulins à vent n'est qu'imparfaitement connue. Suivant une opinion généralement admise, de petits moulins à vent, servant à moudre le blé, auraient existé de temps immémorial dans l'Inde et la Perse, d'où ils se seraient introduits en Occident par les contrées septentrionales de l'Asie et de l'Europe. D'après l'*Encyclopédie méthodique* (1792), la Hongrie possédait des moulins à vent dès 718; un acte de Guillaume, comte de Mortain, aurait permis à un certain abbé Vital d'en établir à Bayeux, Évreux et Coutances. Toutefois c'est seulement à partir du XII^e^ siècle qu'ils ont commencé à devenir communs en Europe.

Dans les moulins du type le plus ancien, dits *moulins allemands*, les ailes et l'ensemble de la construction peuvent tourner tout d'une pièce autour d'un poteau vertical, de telle sorte que l'axe de rotation soit toujours à peu près placé suivant la direction du vent. Les *moulins hollandais*, où la tour est fixe et le toit seul mobile, ne remontent sans doute pas au delà du XVI^e^ siècle.

L'orientation des premiers moulins se faisait à la main. Au commencement du siècle dernier apparut un système d'orientation auto-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

matique, à l'aide d'une sorte de grande girouette ou *gouvernail*. On imagina ensuite une roue dite *papillon*, véritable moulin à vent placé normalement à la roue principale; ce système fut appliqué par les Hollandais aux puissants moteurs qui servaient à l'asséchement des plaines néerlandaises.

En Angleterre, pendant la seconde moitié du XVIII^e^ siècle, le fer s'introduisit dans la construction des moulins. Le nombre des bras fut porté à cinq, six et plus; on commença à se servir de mécanismes actionnés par le vent lui-même, pour tendre et pour carguer les toiles; puis Meikle imagina de remplacer la toile par une série de lames métalliques à charnières, dont l'ouverture et la fermeture se faisaient d'une manière automatique suivant la force du vent (1772).

Vers cette époque, Smeaton (1759) et Coulomb (1781) se livraient à des expériences sur l'effet des moteurs à vent et complétaient ainsi les données théoriques de Parent, de Maclaurin (1742) et d'Euler (1756).

Au cours du XIX^e^ siècle, les moulins à vent ont été l'objet de sérieuses modifications. Ces moteurs sont surtout utilisés maintenant pour élever de l'eau d'un puits dans un réservoir. Afin de répondre convenablement à cette destination, ils doivent être légers et simples, faciles à manœuvrer et à orienter; ils doivent aussi présenter les dispositifs nécessaires pour proportionner la surface active des ailes à la puissance du vent. On est arrivé à construire des appareils tout à fait différents des anciens moulins; la tour est supprimée et remplacée par un échafaudage léger; les ailes tournent au moindre souffle et sont pourvues d'un mécanisme de réglage. Ce mécanisme, presque toujours automatique, qui agit soit en modifiant la surface ou l'inclinaison des toiles, soit en changeant l'orientation même du moulin, constitue le principal progrès réalisé dans la construction des moteurs à vent. Un autre progrès, qui distingue les moulins des États-Unis, est le remplacement des quatre ou six ailes classiques par une multitude de petites ailes droites, occupant presque toute l'aire du cercle décrit par les bras. Bien qu'indiqués, pour la plupart, au commencement de ce siècle ou même à la fin du siècle dernier par Meikle (1780),

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Medhurst (1799), W. Cubbit (1807), A. Durand (1836), etc., ces perfectionnements ne se sont guère répandus que depuis une quinzaine d'années.

Les moulins à vent ainsi perfectionnés se rencontrent rarement chez nous; mais ils fonctionnent en assez grand nombre aux États-Unis, où leur principal usage est d'élever l'eau pour l'alimentation des fermes, des élevages de bestiaux, des petites gares de chemin de fer, des agglomérations peu importantes, etc. Tels sont le moulin *Éclipse* de M. Corcoran et le moulin Halladay.

Quelques constructeurs établissent de véritables turbines atmosphériques entièrement en métal.

Il y a longtemps que les ingénieurs ont recherché le moyen d'éviter l'orientation des appareils à chaque changement dans la direction du vent. Le procédé auquel ils ont eu recours consiste à faire tourner les ailes horizontalement, autour d'un axe vertical : les ailes ne sont plus symétriques par rapport à cet axe; celles qui se trouvent à l'opposé du vent doivent être reployées.

L'un des plus anciens types de moulins à axe vertical est le moulin *à la polonaise*, bien connu dès la fin du XVII^e^ siècle. De nombreuses dispositions ont été imaginées depuis; elles diffèrent principalement les unes des autres par les procédés mis en œuvre pour exposer et soustraire alternativement les ailes à l'action du vent.

Ces appareils ont reçu la dénomination de *panémones*, *pananémones*, *pantanémones*, ce qui veut dire qu'ils se prêtent à tous les vents, quelle qu'en soit la direction. L'action du vent ne s'y exerçant que sur une assez faible partie de la surface des ailes, ils présentent, par rapport aux moulins à vent proprement dits, la même infériorité que les roues à aubes par rapport à l'hélice pour la propulsion des navires; à puissance égale, ils exigent des ailes beaucoup plus étendues : aussi a-t-on presque partout renoncé à leur emploi.

2. Appareils servant à la transmission du travail par l'air comprimé. — Les moulins à vent se bornent à utiliser la force que l'air

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nous fournit naturellement. Mais on peut concevoir qu'un premier moteur ait été employé à comprimer de l'air et que cet air ainsi comprimé serve ensuite à actionner un récepteur. Au point de vue mécanique, la combinaison paraît dès l'abord peu avantageuse; cependant il est des cas où la facilité d'emploi compense et au delà le moindre rendement théorique. En fait, l'usage de l'air comprimé, pour utiliser et répartir au loin une force motrice disponible, a pris beaucoup d'extension, surtout depuis quelques années. Parmi ses applications, il y a lieu de citer la mise en mouvement des perforatrices dans le percement des souterrains; l'ouverture des galeries, la ventilation, la traction mécanique, l'extraction, l'épuisement, la remonte des déblais, etc., dans l'exploitation des mines; la manœuvre des freins de wagons; la transmission des dépêches par tubes; la distribution de l'heure par les horloges pneumatiques; la traction des voitures sur certaines lignes de chemins de fer ou de tramways; la propulsion des torpilles.

Grâce à son élasticité presque indéfinie, à sa faible densité, au peu de résistance qu'il éprouve en parcourant les conduites, l'air atmosphérique est un agent précieux de transmission du travail mécanique. L'idée de mettre ces qualités à profit fut émise, dès 1687, par D. Papin, qui proposait une méthode *pneumatique*, pour transmettre le travail à grande distance. Mais des difficultés pratiques s'opposèrent longtemps à la réalisation d'une idée si simple. On n'arrivait pas à rendre les joints suffisamment étanches; d'autre part, les variations étendues de température, par lesquelles se traduisent la compression et la détente de l'air, entraînaient, outre de gros inconvénients pratiques, des pertes notables d'effet utile.

Les moyens mis en œuvre pour combattre l'échauffement ou le refroidissement de l'air constituent l'un des progrès les plus importants de la période contemporaine. Ils sont dus, dans une large mesure, aux travaux de Colladon, dont les recherches ont si puissamment contribué au succès des percements du Mont-Cenis (1857-1870) et du Gothard (1872-1880).

Sommeiller, qui créa, pour ainsi dire de toutes pièces, les instru-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ments des gigantesques chantiers de Fréjus, doit être considéré comme le véritable initiateur de la transmission du travail par l'air comprimé. Après bien des essais sur les compresseurs à sec jusqu'alors en usage pour le creusement des puits et pour les fondations, il imagina de produire l'air comprimé au moyen d'un appareil à piston hydraulique qui porte son nom et dont le principe avait déjà été indiqué en 1841 par l'ingénieur français Sorel. Ce compresseur se compose de deux colonnes cylindriques, reliées entre elles par un cylindre horizontal de même diamètre, dans lequel circule un piston noyé; le mouvement du piston abaisse et élève alternativement dans les colonnes une nappe d'eau qui aspire et comprime l'air. L'appareil ainsi constitué ne peut marcher qu'à de faibles vitesses : pour remédier à cet inconvénient et éviter une immobilisation coûteuse de matériel, M. François imagina de réduire le volume des colonnes; dans le même but, Colladon supprima entièrement les colonnes, revint au compresseur à sec et chercha à obtenir le refroidissement de l'air pendant la compression par une circulation d'eau autour du cylindre et par l'injection d'eau pulvérisée à l'intérieur. Aujourd'hui les appareils utilisés dérivent tous plus ou moins du compresseur Colladon; le refroidissement est en général obtenu par injection d'eau dans le cylindre (compresseurs Burckhardt, Cockerill, etc.). M. Hanarte a cependant repris et perfectionné, en augmentant la vitesse, l'appareil primitif à piston hydraulique.

Quant aux appareils récepteurs, ils sont presque tous construits sur le même plan général que les moteurs à vapeur. En effet, si on laisse de côté la condensation, l'air peut être complètement assimilé à la vapeur, pour la détente, pour les artifices de distribution, pour les grandes vitesses d'écoulement; il n'appelle que certains changements de détail relatifs au mécanisme de distribution, aux garnitures, etc. Dans les grands moteurs à air comprimé, le froid intense résultant de la détente constitue un obstacle sérieux à sa bonne utilisation; on y pourvoit par divers procédés, tels que la saturation de l'air par la vapeur d'eau ou son passage à l'intérieur d'un calorifère réchauffeur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

3. Appareils à comprimer les gaz sous de fortes pressions. — La transmission et la distribution du travail n'exigent que des pressions modérées, généralement comprises entre 4 et 8 kilogrammes. Mais l'emmagasinement de l'air comprimé dans les réservoirs se fait sous des pressions beaucoup plus élevées : 50 kilogrammes par exemple, pour l'alimentation des locomotives; 100 et 150 kilogrammes pour le chargement des torpilles. M. Mékarski a même obtenu industriellement de l'air comprimé à plus de 1,000 kilogrammes, avec un appareil dont le dessin était exposé en 1889. On réalise ces hautes pressions par le système compound; l'air est successivement comprimé dans deux, trois et même quatre cylindres de dimensions décroissantes, munis de réservoirs intermédiaires (appareil Thirion, pour le chargement des torpilles).

Dans le même ordre d'idées, mentionnons les appareils destinés à comprimer l'acide sulfureux, l'ammoniaque et l'acide carbonique, servant à la production du froid : le piston de la pompe est recouvert d'huile minérale, au lieu d'eau. Ce sont des compresseurs analogues qui donnent l'oxygène fortement comprimé et l'acide carbonique liquide, assez souvent employés aujourd'hui par l'industrie.

4. Machines soufflantes, ventilateurs. — Les appareils servant à injecter l'air sous pression dans des espaces ouverts reçoivent depuis fort longtemps d'importantes applications dans la métallurgie, ainsi que dans la ventilation. D'une manière générale, les machines soufflantes, les ventilateurs ou les autres appareils du même genre se distinguent des machines à compression précédemment indiquées, par les masses d'air plus grandes qui y sont mises en mouvement; souvent aussi, la pression y est plus faible.

Sans revenir ici sur les renseignements déjà fournis au sujet des machines affectées spécialement à l'exploitation des mines et à la métallurgie, il me paraît néanmoins utile de rappeler brièvement les principaux types d'appareils en usage aux diverses époques, pour mouvoir de grandes masses d'air à des vitesses plus ou moins considérables.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le *soufflet* ordinaire à parois flexibles semble avoir été l'un des premiers engins employés pour le traitement des métaux. Au XVI^e^ siècle, il faisait encore partie de l'outillage des forges et fonderies, en même temps que le soufflet en cuir *à lanterne*, de forme conique ou cylindrique. Vers cette époque, l'Allemagne commença à construire des soufflets entièrement en bois, que remplacèrent ensuite les soufflets à caisse et piston carrés.

Vitruve mentionne la *pompe à piston* pour comprimer l'air, comme soufflerie d'orgue. Cependant l'application des machines de cette espèce à la métallurgie est relativement récente : je viens de mentionner les soufflets à caisse carrée; on revint ensuite aux soufflets à cylindre, qui, d'abord construits en bois, le furent en métal vers la fin du XVIII^e^ siècle (Smeaton établit en 1760 la première machine soufflante de haut fourneau composée de quatre cylindres en fonte). Depuis, le cylindre à double effet s'est substitué au cylindre à simple effet; l'action directe du piston à vapeur sur le piston soufflant a d'ailleurs remplacé celle de la machine à balancier, du moins sur le continent; on fait les deux cylindres horizontaux ou verticaux (Creusot, Seraing).

Les *pompes rotatives* sont assez usitées comme machines soufflantes, pour les faibles pressions. Ces appareils ayant été déjà mentionnés à propos des machines élévatoires, je me borne à citer le *volumogène* de Biétrix, exposé en 1889.

Connu depuis de longues années pour le nettoyage des grains, le *ventilateur à force centrifuge* fut appliqué dès le XVI^e^ siècle, suivant Agricola, au renouvellement de l'air dans les mines. Vers 1729, Terral le préconisa, à titre de machine soufflante; mais il n'entra définitivement dans la pratique que cent ans plus tard. Son principal avantage est une grande simplicité. Il ne convient que pour de faibles pressions. Parmi les types les plus connus, citons le ventilateur de Lloyd (Exposition de 1851), celui de Platt et Schiele (Exposition de 1855), le ventilateur-turbine Geneste et Herscher, le ventilateur Ser

On utilise aussi comme ventilateurs des appareils à entraînement

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tels que le ventilateur Kœrting, le souffleur Vabe, à jet de vapeur. Dans l'ancienne *trompe* des forges catalanes, qui paraît avoir été inventée en Italie au milieu du XVII^e^ siècle, l'entraînement est produit par l'eau.

Mentionnons encore la *machine à cloches*, beaucoup plus employée comme machine aspirante, sous le nom de *ventilateur du Harz*, et la *vis d'Archimède*, qui a eu un moment de vogue (*cagniardelle*, imaginée vers 1809 par Cagniard-Latour). De même que la vis, presque toutes les machines élévatoires peuvent se transformer en machines soufflantes; la plupart ont du reste été appliquées à cette destination : c'est ainsi que le bélier hydraulique a servi de compresseur, pour les travaux du tunnel de Fréjus.

5. Machines aspirantes. — De très légères modifications suffisent à changer les machines soufflantes en *machines aspirantes*. Le cercle des applications auxquelles se prêtent ces dernières machines a pris beaucoup d'extension. Elles servent, dans les usines à gaz d'éclairage, pour extraire le gaz des cornues; dans les fabriques de sucre, pour faire le vide au-dessus des sirops à évaporer; dans les travaux souterrains, les manufactures, les bâtiments publics, pour évacuer l'air vicié.

Au nombre des aspirateurs les plus employés dans les mines, citons les machines à piston, la machine à cloches, les ventilateurs Fabry, Guibal, etc. Les fabriques de sucre utilisent aussi les aspirateurs à piston. Dans les usines à gaz, on les emploie concurremment avec les ventilateurs centrifuges.

Une application récente de la machine pneumatique est la transmission de la force par l'air raréfié, sur laquelle je reviendrai plus loin.

§ 7. Régularisation du travail des moteurs.

1. Régulateurs. — La plupart des machines motrices doivent marcher à une vitesse sensiblement uniforme. Cet effet s'obtient par les *volants* et les *régulateurs* : les *volants* renferment entre des limites

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rapprochées les variations incessantes de la vitesse, dues aux variations des couples moteurs pendant chaque tour de la machine; les *régulateurs* maintiennent cette vitesse entre deux limites déterminées, malgré les variations du travail résistant.

Bornons-nous à étudier les régulateurs. Ce sont des mécanismes agissant sur la distribution de la force motrice, par exemple sur la vanne d'une chute d'eau, sur le papillon d'une conduite de vapeur, sur les organes réglant le degré de détente.

Qui ne connaît le régulateur à force centrifuge ou pendule conique de Watt, emprunté par l'illustre ingénieur à l'industrie de la meunerie? Ce régulateur, agissant sur la valve d'admission de la vapeur, a été longtemps considéré comme répondant à tous les besoins. On a cependant cherché à le perfectionner, à le rendre plus puissant sous un même volume, en lui imprimant une grande vitesse de rotation, à assurer aux machines une allure rigoureusement constante quelles que fussent les variations de résistance; pour éviter les pertes de rendement qu'amène l'étranglement produit par la vanne de Watt, on a imaginé les divers systèmes de détente variable commandés par le régulateur, dont se trouvent munies la plupart des machines récentes.

Les tentatives faites en vue de réduire le volume du régulateur par un accroissement de vitesse ont parfaitement réussi. En général, le moyen consiste à surcharger l'appareil au moyen d'un poids ou d'un ressort. Le régulateur Porter, qui a paru à l'Exposition de 1862, est l'un des premiers où l'avantage des grandes vitesses ait été pratiquement mis en relief; il a été imité de bien des manières et appliqué à de nombreuses machines. Sous des formes diverses, les régulateurs à rotation rapide jouissent d'une faveur de plus en plus marquée.

Pour les travaux courants et ordinaires, des variations restreintes dans la vitesse de la machine motrice ne présentent aucun inconvénient. Mais, pour les travaux plus délicats, tels que la filature, il fallait conserver la vitesse presque mathématiquement uniforme, malgré les variations incessantes que subit la résistance. Or, avec le régulateur de Watt, toute diminution de résistance entraîne une augmentation de vitesse, et réciproquement; on a donc cherché à construire

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des régulateurs qui fussent en équilibre pour une vitesse de rotation déterminée, indépendamment de la position des boules, appareils qualifiés d'*isochrones* ou d'*astatiques*. La première tentative dans ce sens est due à Charbonnier (1842); depuis, le problème a reçu de nombreuses solutions et donné lieu à des recherches d'une haute valeur, notamment de la part de Léon Foucault. Toutefois les régulateurs parfaitement isochrones n'ont jamais bien fonctionné; l'équilibre qu'ils procurent est essentiellement instable; pour rentrer dans les conditions d'une marche régulière, on doit s'écarter de l'isochronisme complet et donner au régulateur une certaine stabilité, tout en lui conservant une sensibilité suffisante. Un procédé efficace et devenu fort usuel consiste à armer la douille du régulateur d'un *frein liquide*.

Les régulateurs à embrayage, empruntés au mécanisme des moulins, ont été aussi abandonnés : l'action de l'embrayage est trop lente. Il convient néanmoins de rappeler les ingénieuses dispositions imaginées pour porter remède aux imperfections de la commande par embrayage, en particulier celles du régulateur à compensateur Denis et de l'appareil J.-G. Bodemer (1878).

Beaucoup de machines rapides comportent maintenant des régulateurs centrifuges formés de masses que rappellent des ressorts et qui agissent en général sur la détente, en modifiant le calage de l'excentrique.

En dehors des régulateurs à force centrifuge, qui sont les plus répandus, il y a lieu de mentionner ceux dans lesquels l'effort, variable avec la vitesse nécessaire au déplacement du distributeur, est emprunté à la résistance des fluides. Les uns agissent par refoulement d eau dans un cylindre, d'autres par aspiration d'air (régulateur Larivière); quelques-uns reposent sur la résistance que l'eau oppose au mouvement d'une roue à palettes (régulateurs Allen, Marcel Deprez).

2. Modérateurs. — Les *modérateurs* ont pour objet de s'opposer à toute accélération du mouvement ou de ralentir ce mouvement par la création de nouvelles résistances passives. Ils se distinguent très

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nettement des régulateurs en ce qu'ils ne fonctionnent qu'au détriment du travail moteur dépensé. Aussi leur emploi est-il très limité.

Un modérateur bien connu est le modérateur à ailettes (tourne-broche). Citons encore les *freins,* qui développent un frottement de glissement comme résistance passive; ils sont en usage dans la plupart des moulins à vent, ainsi que dans les appareils de levage pour modérer la descente des fardeaux.

§ 8. Transmission du travail.

1. Transmission du travail à petite distance. — Les moteurs de l'industrie sont ordinairement établis en vue d'actionner des machines-outils. Parfois le moteur et la machine se trouvent réunis dans un même appareil; mais, le plus souvent, il faut avoir recours à des *organes de transmission,* qui prennent le mouvement sur l'arbre du moteur, le transportent dans l'usine et le distribuent aux machines-outils, avec la vitesse et le sens voulus. Les transmissions comportent des pièces mobiles animées en général d'une rotation continue (arbres, roues, poulies), des pièces fixes servant de guides ou de supports à ces pièces mobiles (consoles, chaises, paliers, coussinets), enfin des dispositifs propres à interrompre ou à rétablir le mouvement (embrayages). Passons une revue rapide de ces divers organes.

Un des modes de transmission les plus usuels consiste à communiquer le mouvement par une corde, une chaîne ou une courroie sans fin, jetée sur deux poulies.

Autrefois employée dans les rouets et les tours, la *corde sans fin* sert encore aujourd'hui pour les machines à coudre. Mais elle ne convient qu'à la transmission de faibles efforts.

La *chaîne sans fin* s'adapte à toutes les forces, pourvu que le mouvement ne soit pas trop irrégulier. On l'a jadis utilisée pour les scieries et les martinets. Quand l'adhérence de la chaîne sur les poulies devient insuffisante, on arme les jantes de saillies fournissant des points d'appui aux maillons.

A ce mode de transmission se rattachent les *câbles métalliques sans*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fin, passant sur des poulies à gorge. Les câbles de cette nature ont été employés pour la première fois par F. Hirn, au Logelbach (1850). Afin de rendre les câbles plus légers, on se sert de poulies d'un fort diamètre, marchant à grande vitesse.

De toutes les transmissions par liens flexibles, la transmission par *courroies* est de beaucoup le plus usitée. Les Anglais appliquèrent, dès la fin du XVIII^e^ siècle, le système des courroies sans fin à leurs grandes filatures de coton, en faisant passer ces courroies sur des tambours en bois, puis sur des poulies en fonte [1]. Un peu plus tard, les courroies se substituèrent aux chaînes et aux cordes sans fin dans les bluteries et les cribles mécaniques. Enfin, vers 1820, l'Angleterre tenta de les adapter à des machines plus puissantes, aux martinets de forge, aux scieries, etc. Depuis, leur domaine n'a cessé de s'étendre, et on y a presque exclusivement recours quand les rapports de vitesse entre les organes accouplés n'exigent pas une rigueur absolue. Les usines ayant des centaines et même des milliers de mètres de courroies ne sont pas rares. On est arrivé à transmettre par courroies des puissances énormes, allant jusqu'à 1,200 chevaux-vapeur.

Pour éviter le glissement de la courroie sur la poulie, il faut lui donner une certaine tension. Mais les tensions prononcées engendrent des frottements, des pertes de travail; elles font gripper les coussinets et fausser les arbres. On a remédié à cet inconvénient par une augmentation progressive de la vitesse des courroies : plus la vitesse est grande en effet, plus la tension peut être réduite pour une même puissance. Du reste, les transmissions rapides sont plus légères, plus économiques, plus faciles à monter et à entretenir. Ces avantages, bien constatés, ont eu pour conséquence un accroissement continu des vitesses. A l'Exposition de 1867, l'arbre général de transmission fournissait 100 tours par minute; en 1889, il donnait 150 tours. Tandis qu'en 1878 la vitesse des courroies ne dépassait guère 8 à 10 mètres par seconde, elle atteint aujourd'hui 20 mètres.

Une autre cause de l'augmentation de vitesse des courroies est l'ex-

[1] C'est Arkwright qui a employé en 1775 les premières poulies en fonte pour courroies sans fin, dans les filatures de coton de Cromford et de Belper.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tension qu'ont prise depuis une dizaine d'années les usines génératrices d'électricité. Des machines rapides comme les dynamos ne peuvent guère être conduites autrement que par courroies, et c'est en grande partie à l'emploi de plus en plus répandu de ces machines que sont dus les perfectionnements dont les courroies ont été récemment l'objet.

Il serait hors de propos d'étudier ici les nombreuses combinaisons auxquelles se prête la transmission par courroies : courroies croisées, courroies avec tendeur, commande d'une poulie par une autre poulie non parallèle à la première, renversement de mouvement par courroies droites et croisées, etc.

Les poulies pour courroies donnent lieu à une fabrication importante et perfectionnée. Depuis quelque temps, les poulies en tôle de fer ou d'acier ont conquis la faveur dans les ateliers, surtout pour les grandes vitesses. Les poulies en bois et même en papier comprimé sont aussi en usage.

Tous les mécaniciens savent combien la bonne tenue d'une transmission dépend du mode de réunion des bouts de courroie. Cette réunion se fait ordinairement par une couture. On a cherché à l'améliorer, en substituant à la couture le rattachement au moyen de rivets ou d'agrafes. Le collage donne de bons résultats.

Quant à la matière première, c'est presque toujours le cuir; la courroie peut se composer de plusieurs lames superposées, ou même être constituée par des bandes placées de champ. Le caoutchouc trouve aussi d'assez fréquentes applications; il s'emploie avec interposition d'un tissu de chanvre, de coton ou de fils métalliques. On se sert également de tissus empâtés de divers enduits, tels que le minium et la gutta-percha.

Une nouveauté intéressante de l'Exposition de 1878 était la transmission par *câbles sans fin* en coton, en chanvre ou en manille. La commande ainsi obtenue offre une douceur remarquable; elle est entrée dans la pratique courante des usines et transmet parfois des puissances considérables.

Parmi les *transmissions par liens rigides*, je mentionnerai les *bielles*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'accouplement des locomotives et le *joint brisé ou universel*, qui s'emploie en Hollande pour transmettre le mouvement des moulins à vent aux axes inclinés des vis d'épuisement.

En réunissant bout à bout un grand nombre de tronçons d'arbres, au moyen de joints universels, on peut constituer un ensemble flexible et extensible, qui permet de transmettre la force dans toutes les directions. Ce problème intéressant est résolu d'une manière différente, mais très complète, par l'arbre flexible de Stow, exposé pour la première fois en 1878.

Lorsque l'effort à transmettre est faible, on peut employer la *transmission par contact*, au moyen de deux roues dont les jantes sont pressées l'une contre l'autre; la pression nécessaire s'exerce d'ailleurs à l'aide de coins, de vis, de ressorts ou de leviers appropriés. Ce système a été appliqué à la commande des tire-sacs dans les moulins; il sert parfois à actionner certains appareils marchant à grande vitesse, parce qu'il se prête aux embrayages ou débrayages progressifs et évite ainsi les chocs violents qui se produiraient avec les engrenages.

Cependant la *transmission par engrenages* est beaucoup plus usitée. Son origine remonte à l'antiquité. Elle semble avoir commencé sous la forme de l'engrenage *à lanterne*, qu'on trouve encore en usage chez des peuples à demi sauvages. Des engrenages en bois grossièrement taillés suffisent d'ailleurs pour transmettre à faible vitesse la force d'une petite roue hydraulique, d'un moulin à vent ou d'un manège.

Le progrès des engrenages date de l'époque à laquelle fut inventée l'horloge à balancier. Il devenait impossible en effet de s'en tenir à des engrenages grossiers et sans précision; les rapports de vitesse des roues dentées eussent été trop irréguliers. La géométrie vint joindre ses efforts à l'habileté manuelle des ouvriers; elle fonda la théorie des engrenages et définit les tracés propres à assurer l'exacte proportionnalité entre les vitesses des divers organes. Ces tracés ne furent pas immédiatement suivis pour les gros engrenages, qui continuaient à s'établir en bois et à ne transmettre que de faibles efforts; mais ils s'imposèrent du jour où le métal entra couramment dans la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

construction des machines[1]. Les variations brusques de vitesse, tolérables avec des pièces flexibles en bois, eussent promptement détruit des pièces rigides, résistantes, dures au choc, comme les dents métalliques; il était indispensable d'attribuer aux organes des formes d'une correction plus parfaite, d'un dessin plus rigoureux, d'une exécution plus soignée.

Dès 1825 ou 1830, nos principaux ateliers de construction possédaient des machines-outils permettant de tailler automatiquement les dents d'engrenages. Les perfectionnements successifs de ces machines amenèrent la construction des roues dentées à une précision de plus en plus grande. Peu à peu, cette précision s'est vulgarisée; le public a pu trouver facilement des engrenages bien faits et à bas prix; plusieurs maisons spéciales se sont d'ailleurs puissamment outillées pour une large fabrication par séries de modèles.

Au point de vue cinématique, la transmission par engrenages assure l'invariabilité parfaite des rapports de vitesse entre les diverses roues d'un même équipage; au point de vue de la puissance, elle se prête à la transmission des efforts les plus considérables. Malheureusement le travail prolongé détermine inévitablement une certaine usure et par suite un certain jeu; des chocs se produisent, surtout aux grandes vitesses; il en résulte des pertes de force, parfois des dislocations et des ruptures. Aussi préfère-t-on souvent les transmissions funiculaires, qui ont à la vérité le défaut de donner lieu à des glissements, mais qui offrent plus de douceur de mouvement et entraînent en définitive une moindre déperdition de force motrice.

Ce n'est point ici le lieu d'étudier les nombreuses variétés, du reste bien connues, d'engrenages : engrenages droits, engrenages d'angle, crémaillères, vis sans fin, engrenages hélicoïdaux. Mais il convient de mentionner les dispositions imaginées dans le but de réduire les

[1] Smeaton appliqua, pour la première fois, en 1769, la fonte aux rouages de la forerie de canons installée à Carron (Écosse). Mais ce fut seulement vers 1784 ou 1785, lors de la construction des célèbres moulins d'Albion, que le métal commença à prendre possession de toutes les parties des machines. J. Rennie, l'habile constructeur de ces moulins, inaugura le finissage correct des engrenages à la lime et au ciseau.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

chocs presque inévitables à l'instant où les dents viennent en prise. White a trouvé une remarquable solution du problème par ses engrenages hélicoïdaux, dont le premier modèle parut à l'Exposition française de 1801 et qui donnent à la transmission une douceur exceptionnelle. Toutefois ces engrenages ont encore, pour les efforts un peu considérables, quelques inconvénients auxquels M. Piat est parvenu à soustraire ses roues à *chevrons* et à *denture croisée*.

Citons, en passant, comme cas particulier de la transmission par engrenages, les *cames* destinées à transmettre des mouvements intermittents. Les marteaux et martinets mus par des cames se rencontraient autrefois dans presque tous les ateliers de forge.

Les *embrayages* ou *encliquetages* ont pour but de supprimer ou de rétablir à volonté l'action du moteur sur les outils dont le travail n'est pas continu. Ils se distinguent suivant que leur action a lieu avec ou sans arrêt de l'arbre moteur. Les embrayages *au repos* sont très communs et très faciles à concevoir; des dispositifs extrêmement variés, mais fort simples, permettent de solidariser ainsi les mouvements de deux arbres conjugués. Pour les embrayages *en marche*, la question est plus délicate; elle offre du reste une importance considérable : emprunter à un arbre moteur la force motrice nécessaire à la commande d'une machine-outil, sans modifier la vitesse de cet arbre, puis supprimer de même la transmission, sont des nécessités de premier ordre dans beaucoup d'ateliers. Le problème intéresse à la fois l'économie de force, la commodité des opérations et souvent leur sécurité; il appelle donc quelques explications.

Quand les organes sont légers et n'ont que de faibles vitesses, l'embrayage peut s'effectuer par de nombreux moyens, dont les rochets d'horlogerie constituent un exemple. Pour des masses et des vitesses un peu fortes, la solution est moins facile; on ne saurait faire passer brusquement les organes du repos à la vitesse normale ou réciproquement, sous peine de provoquer, par l'effet de l'inertie, des réactions violentes et destructives; la vitesse de l'organe embrayé doit ne s'accroître que progressivement. En général, on obtient ce résultat au

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

moyen du frottement. Les *embrayages par friction* agissent à la manière des freins ordinaires : un disque, un cône, une pièce analogue obéissant à l'arbre moteur presse contre une pièce que porte l'arbre commandé et qui forme la contre-partie de la première; la pièce commandée prend une vitesse graduellement croissante. L'un des types les plus usuels de l'embrayage par friction est la commande par courroies et par poulies folle et fixe. Ce système présentant certains défauts, on a imaginé beaucoup d'embrayages par friction qui n'exigent pas le déplacement de la courroie de commande : la poulie est folle sur l'arbre moteur, et un dispositif plus ou moins ingénieux permet de la caler sur cet arbre au moment voulu.

Des freins à embrayage sont souvent adaptés aux appareils de levage, dans lesquels il importe que la charge suspendue ne puisse redescendre brusquement.

Il y a lieu de mentionnner enfin le système électrique Achard, pour l'embrayage et le désembrayage instantanés et à distance des pièces en mouvement.

La manœuvre des embrayages donne naissance à de nombreux et graves accidents : qu'il s'agisse de monter ou de descendre une courroie, de mettre en prise un engrenage, d'arrêter un outil en marche, les ouvriers, circulant au milieu d'organes animés de vitesses souvent considérables, peuvent être saisis ou broyés avant qu'on ait eu le temps d'arrêter la machine. Ces catastrophes, malheureusement trop fréquentes, ont conduit divers groupes d'industriels à encourager les inventeurs dans la recherche de moyens simples et pratiques, propres à en éviter autant que possible le retour. Les préoccupations de cette nature sont un des traits caractéristiques de l'industrie moderne. On connaît l'Association mulhousienne pour prévenir les accidents de machines, fondée en 1867; M. Engel-Dollfus, président de cette association, exposait en 1878 les modèles des principaux appareils de sécurité susceptibles d'être recommandés. A l'Exposition de 1889, l'*Association des industriels de France pour préserver les ouvriers des accidents* et l'*Association rouennaise pour prévenir les accidents de fabrique* ont chacune obtenu une médaille d'or.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

2. Transmission du travail à grande distance. — Peu de problèmes mécaniques présentent autant d'importance que la transmission à grande distance et la répartition de la force motrice. Si, après avoir créé économiquement le travail dans de grandes usines centrales, on pouvait facilement le transporter au loin, le distribuer comme le gaz d'éclairage ou l'eau, le mettre à domicile sous la main de l'ouvrier, il en résulterait un changement profond dans le régime de la production industrielle. Ce serait la mise en valeur des forces immenses que la nature place sous notre main sur tous les cours d'eau et qui restent aujourd'hui stériles; ce serait aussi la restauration du travail en famille. La solution économique du problème n'est malheureusement pas encore trouvée.

En beaucoup de cas, les *câbles télodynamiques* de F. Hirn offrent de précieuses ressources. Depuis leur invention, ils ont été fréquemment appliqués (à Schaffhouse, à Oberwesel, à Moscou, dans les filatures d'Alsace, etc.). Ces câbles utilisent parfaitement la force motrice; mais ils pèchent par défaut de souplesse et se prêtent mal aux variations brusques de résistance.

Sans donner un rendement comparable à celui des câbles télodynamiques, l'*eau comprimée* et l'*air comprimé* possèdent bien plus de souplesse. Depuis les installations d'Armstrong à l'eau comprimée, depuis les travaux du Mont-Cenis à l'air comprimé, ces deux modes de transmission ont reçu des applications importantes, nombreuses et variées. Nous avons déjà passé en revue les principaux appareils fonctionnant à l'eau comprimée et à l'air comprimé; il ne nous reste ici qu'à jeter un coup d'œil sur l'extension prise par les deux systèmes.

Dans les localités où existent de fortes chutes d'eau, on peut conduire économiquement l'eau à haute pression et distribuer à peu de frais la force motrice : beaucoup de moteurs hydrauliques sont ainsi actionnés en Suisse; Genève, par exemple, a deux canalisations, l'une à basse pression pour les usages ordinaires, l'autre à haute pression (10 à 12 atmosphères) pour la puissance. A défaut de chute d'eau, il devient nécessaire d'installer des machines à vapeur, des pompes, des accumulateurs, pour créer les distributions hydrauliques : les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

grands services rendus par le système d'Armstrong sur les quais des ports et dans les docks ont déterminé à l'étendre aux villes. C'est à cet habile ingénieur que revient le mérite d'avoir appliqué l'eau sous pression pour distribuer la force à domicile; dès avant 1853, il fit fonctionner des moteurs d'imprimerie à Newcastle, en utilisant la distribution d'eau de la ville. Depuis, l'idée a fait son chemin en Angleterre; Londres et Hull ont des distributions de force hydraulique; les appareils le plus ordinairement actionnés sont des treuils, des cabestans, des grues, des broyeurs, des meules, des machines d'imprimerie et de scierie, surtout des ascenseurs. Outre son faible rendement, le système a divers défauts, parmi lesquels il convient de citer les fuites, la cherté d'installation des usines centrales, la difficulté d'établir de petits moteurs satisfaisant aux conditions requises.

J'ai déjà insisté sur le développement qu'a pris l'emploi de l'air comprimé pour la distribution de la force. Jusqu'ici on ne s'en est guère servi que dans des circonstances où il s'imposait par des raisons autres que l'économie, notamment dans les travaux de mines qui y trouvent un agent précieux au point de vue des facilités d'usage et de l'innocuité. Cependant une distribution de force par l'air comprimé a été entreprise à Birmingham, en 1884; deux ans après, la Compagnie parisienne de l'air comprimé inaugurait à Paris une entreprise analogue (procédés V. Popp). Le rendement total, dans cette dernière installation, ne dépasse pas 25 à 30 p. 100.

Un autre mode de transmission du travail par l'*air raréfié* a été récemment employé et semble offrir certains avantages pour la distribution des petites forces à domicile, dans un rayon peu étendu; MM. Boudenoot et Petit en ont fait une application à Paris.

La *vapeur* peut fournir la force en même temps que la chaleur. Elle ne comporte point toutefois des transports à très grande distance. Si son emploi est commode et facile à régler, les inconvénients dus à la condensation dans les tuyaux et aux fuites sont considérables. La plus importante distribution de ce genre existe à New-York depuis 1869.

Une distribution d'*eau surchauffée*, servant au chauffage et à la force motrice, a été installée à Boston, en 1881.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le *gaz d'éclairage* constitue aussi un agent commode, mais peu économique, de transmission de la force.

Doit-on compter sur l'*électricité* pour apporter enfin la solution générale du grand problème de l'utilisation des forces naturelles? Les immenses progrès des dix dernières années autorisent toutes les espérances. Plusieurs maisons étaient parvenues, en 1889, à réaliser des transmissions électriques à grande distance dans des conditions vraiment industrielles. Une société lyonnaise se prépare à tirer parti des forces du Rhône et à créer de gigantesques installations pour distribuer par l'électricité la force nécessaire aux petits ateliers de soierie dans la ville de Lyon. On ne peut que suivre attentivement les résultats de ces tentatives.

3. Appareils de graissage, joints, etc. — Toute transmission mécanique donne lieu à des frottements qui absorbent une part plus ou moins grande de la puissance transmise; toute transmission par l'intermédiaire des fluides, eau, air, vapeur, comporte des fuites. Il y a un intérêt considérable à atténuer ces déperditions : la dépense de graissage, par exemple, entre pour une fraction importante dans le prix de revient; d'autre part, aussitôt que la transmission est un peu étendue, les points de perte se multiplient, et, faute de précautions suffisantes, on risquerait de voir s'évanouir ainsi la presque totalité du travail moteur.

A cet égard, les progrès réalisés ont suivi pas à pas ceux de la construction générale des machines; c'est dire que les plus essentiels remontent déjà à une époque assez lointaine.

Pour les transmissions mécaniques, les frottements constituent le facteur principal de la déperdition. Quand ces transmissions sont convenablement établies et entretenues, le coefficient de frottement reste très faible et se maintient en général bien au-dessous des chiffres les plus favorables qu'on a l'habitude de prendre comme base des calculs. Les valeurs usuellement adoptées résultent en effet d'expériences anciennes, remontant à une époque depuis laquelle la construction et le graissage des organes frottants ont réalisé de nombreux progrès.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Aujourd'hui il est de règle de mettre en contact des matériaux ayant une dureté inégale, pour reporter l'usure sur la pièce la moins coûteuse et la plus facile à remplacer. Ainsi on fait glisser le fer, l'acier ou la fonte sur le bronze; parfois on interpose un métal plus doux, dit *antifriction*. Le bronze phosphoreux jouit d'une assez grande faveur pour les coussinets, qui s'établissent aussi en bois dur.

Les huiles végétales, qui pendant longtemps ont été seules employées au graissage des machines ordinaires, présentent plusieurs inconvénients : elles se changent en cambouis au contact de l'air; en outre, elles se décomposent sous l'action de la vapeur et corrodent les surfaces métalliques. Ce dernier inconvénient était un obstacle à l'emploi des pressions élevées. On a abandonné les huiles organiques pour la lubrification des pièces exposées à la vapeur et on les a remplacées par des huiles minérales lourdes et riches en carbone, provenant de la rectification des pétroles, du goudron de gaz, des huiles de schiste et de boghead. Ces huiles ne se volatilisent qu'à 300 degrés environ et ne tendent pas à se décomposer; malheureusement il est difficile de reconnaître les fraudes dans leur composition.

Quelle que soit sa nature, la matière lubrifiante doit être amenée et répartie sur les surfaces d'une manière continue et régulière. Ordinairement chaque articulation un peu importante est munie d'un petit réservoir, d'où le corps gras s'écoule avec lenteur; divers artifices permettent de régler le débit suivant la vitesse relative des surfaces. Des dispositions particulières s'imposent pour certaines pièces, par exemple pour les organes en mouvement, que la main du mécanicien ne pourrait suivre au vol (*lécheurs* des machines marines). Le graissage en marche des longues files d'arbres étant parfois difficile et dangereux, on a imaginé de faire porter ces arbres sur des paliers-graisseurs, garnis d'une quantité d'huile suffisante pour plusieurs semaines.

Par suite de la grande vitesse actuellement imprimée aux machines, il a fallu pousser le graissage à un haut degré de perfection. La tendance est d'employer le lubrifiant en surabondance, de telle sorte que les organes frottants puissent y baigner; on recueille le liquide

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

en excès, on le purifie et on l'utilise à nouveau. Trois exemples frappants de ce système figuraient à l'Exposition de 1889 : la machine Westinghouse, le turbo-moteur Parsons et la turbine construite par la maison Farcot pour l'usine du Khatatbeh; dans cette dernière machine, l'huile circule à travers les pivots, par le jeu de deux pompes rotatives, et gagne ensuite un réfrigérant où elle se refroidit. Afin d'éviter les projections dues à la force centrifuge, on recourt de plus en plus aux graisses semi-fluides pressées par un piston.

La lubrification du piston des machines à vapeur a été longtemps assurée par des graisseurs fermés, fonctionnant comme de véritables sas. Maintenant il paraît préférable de graisser la vapeur elle-même; on fait arriver sur le passage de la vapeur un filet d'huile qui se trouve immédiatement pulvérisé (graisseurs Consolin et Stauffer).

Les joints de surfaces fixes, tels que ceux des tuyaux, des fonds de cylindres, s'obtiennent en général par le serrage d'une matière plastique entre les deux surfaces, auxquelles sont attribuées à cet effet des formes spéciales. On emploie beaucoup le mastic de minium; le plomb coulé et matté sert couramment pour les conduites d'eau et de gaz; ce métal s'utilise aussi sous forme de lames ou de fils. Le cuivre convient aux fortes pressions. Quand les pressions sont modérées, le caoutchouc donne des joints parfaitement étanches; on en fait de plus en plus usage. Citons encore le cuir et la gutta-percha pour les joints hydrauliques, l'amiante, etc. Dans les conduites de quelque longueur, il importe que les joints laissent du jeu à la dilatation et aux tassements, sans que leur étanchéité soit pour cela compromise.

Pour les joints entre surfaces glissant l'une sur l'autre, le problème est plus difficile. L'étoupe plus ou moins serrée, les segments métalliques et surtout le cuir embouti tiennent bien la pression de l'eau. Il est particulièrement malaisé de rendre bien étanches les joints de vapeur : presque toutes les garnitures de piston sont en métal; dans les presse-étoupes, une tendance se manifeste à remplacer l'étoupe par des matières métalliques, par des alliages subissant un léger

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ramollissement à la température de la vapeur, de telle sorte que la pression du chapeau suffise pour les mouler sur la tige; parfois même, on y supprime toute garniture, mais en apportant un soin spécial au guidage de la tige, qui doit en tout cas être très exact. Enfin l'air exige des précautions exceptionnelles : dans les machines à compression où l'on ne fait pas usage de pistons liquides, on emploie souvent des garnitures métalliques, très minutieusement ajustées et graissées; les pistons en caoutchouc de Giffard ont donné de bons résultats.

§ 9. Machines servant à la manœuvre des fardeaux.

1. Crics et vérins. — Les moyens dont l'industrie contemporaine dispose pour la manipulation mécanique des fardeaux présentent une infinie variété. Nous n'examinerons ici que les appareils d'un usage général.

Le *cric* consiste en un engrenage, qui transmet à une crémaillère l'effort exercé sur une manivelle. C'est un instrument assez difficile à bien établir, malgré sa simplicité. Il doit être à la fois léger et robuste, ne point donner lieu à des frottements exagérés, assurer aux pièces à lever une prise sûre et facile, offrir des dispositions telles que la descente soit modérable à volonté et que les charges, une fois soulevées, ne risquent pas de retomber brusquement.

Quand il s'agit de manœuvrer des pièces d'un très grand poids, le cric cède la place au *vérin*, formé par une vis que l'on fait tourner au moyen d'un écrou fixe ou inversement. Le vérin donne lieu à des frottements considérables, qui absorbent une forte part du travail moteur; en revanche, il fournit des garanties de sécurité plus grandes que le cric, car le frottement de la vis sur son écrou empêche la charge de redescendre.

On se sert avec succès, depuis quelques années, de vérins hydrauliques, appareils fort simples qui reposent sur le même principe que la presse hydraulique. Ils soutiennent la charge sans rochet ni encliquetage, comme les vérins ordinaires, auxquels ils sont du reste très supérieurs au point de vue du rendement dynamique.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

2. Poulies, moufles, treuils, palans. — Tandis que les crics et vérins prennent directement leur appui sur le sol et n'exigent pas d'installations préalables, les appareils funiculaires, poulies, palans, treuils, etc., agissent par suspension et nécessitent l'établissement de points d'appui placés au-dessus de la charge. Cette sujétion a pour contre-partie la facilité de manœuvre, de rotation, de déplacement des fardeaux suspendus.

La *poulie* et la *moufle*, servant à l'élévation des faibles charges, sont en usage depuis des temps très reculés. Il en est de même du treuil, du cabestan, de la grue, de la chèvre. Mais les peuples modernes ont perfectionné ces appareils, imaginé des combinaisons inconnues des anciens, remplacé pour la commande des engins les moteurs animés par des moteurs beaucoup plus puissants.

Au lieu de mouflettes à poulies inégales, on n'emploie presque plus aujourd'hui que des palans comprenant deux systèmes de poulies égales. Pour le déplacement des fortes charges, les cordes ont été remplacées par les chaînes. Quant aux treuils anciens, comme le treuil à leviers croisés, la roue à chevilles des carriers, le treuil simple à manivelle, ils ont généralement fait place aux treuils à engrenages.

Il y a un petit nombre d'années, plusieurs appareils ingénieux sont apparus, dont l'objet était de faciliter et de simplifier la manœuvre des moufles; ces appareils voient chaque jour leur domaine s'étendre. Au premier rang se place le *palan différentiel*, créé par Weston en 1861 et dérivant du même principe que le treuil différentiel, dont l'invention est attribuée aux Chinois. Il comporte deux poulies solidaires, de diamètres très peu différents, montées côte à côte sur un axe commun; une chaîne sans fin passe successivement sur les deux gorges, taillées à empreintes de manière à en empêcher le glissement; la chaîne forme ainsi deux grandes boucles pendantes, dont l'une soutient une poulie avec chape à crochet pour porter la charge. Un effort restreint permet d'élever un poids considérable; quand la charge est soulevée, les frottements suffisent à la maintenir suspendue. Aussi la poulie différentielle s'est-elle répandue très rapidement.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Cette idée de faire passer la chaîne sur une gorge à empreintes calibrées a reçu beaucoup d'applications; elle supprime les embarras de l'enroulement continu sur un volumineux tambour. Dans les treuils à noix[1], si généralement employés sur les chantiers de constructions, la chaîne accomplit un demi-tour sur un pignon portant l'empreinte de six à huit maillons. La chaîne de Galle[2], manœuvrée au moyen de pignons dont les dents agissent sur les boulons reliant les maillons, a été introduite par M. Neustadt dans l'établissement des appareils de levage. A côté de leurs avantages, ces dispositifs ont le défaut de ne plus pouvoir fonctionner quand la chaîne est distendue par l'usure ou par des efforts excessifs.

3. Grues, chèvres, bigues, etc. — Quelques mots seulement des appareils mus par un agent mécanique.

Les *grues* et autres appareils de levage *à vapeur* se sont répandus dans les ports, les gares de chemins de fer, les docks, les magasins, les manufactures, etc., moins à cause des économies qu'ils apportent au point de vue des frais de manutention qu'en raison de leur puissance de débit. En les employant, on réduit la durée des opérations de chargement ou de déchargement, et on utilise beaucoup mieux le matériel de transport ou de fabrication, ainsi que les espaces occupés.

Dans la plupart des cas, les grues à vapeur portent avec elles leur chaudière. Souvent elles sont roulantes. La commande du treuil par le moteur se fait en général à l'aide d'engrenages, quelquefois aussi à l'aide de roues à vis sans fin ou par cônes de friction; les engrenages à coins de Minotto méritent également d'être mentionnés. J. Chrétien s'est proposé de supprimer les équipages de roues dentées, sujets à l'usure et aux avaries, et de simplifier ainsi la construction des appareils; il a imaginé les grues à traction directe, qui ont fait leur apparition en 1867, et dans lesquelles le moteur est un piston à simple effet, agissant soit directement, soit par l'intermédiaire de poulies

[1] La noix d'embrayage a été imaginée par A. Nepveu (1840).

[2] Galle a inventé en 1832 la chaîne qui porte son nom.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mouflées, sur la chaîne de levage; divers inconvénients limitent l'usage de ces grues.

J'ai déjà parlé des *grues hydrauliques*. La première grue Armstrong a fonctionné en 1846 sur les quais de Newcastle-sur-Tyne. Pour le service des appareils de levage, l'eau sous pression a un mérite de premier ordre, son incompressibilité, qui en fait un frein merveilleux. Une simple manœuvre de robinet suffit pour modérer ou arrêter progressivement la descente des charges les plus lourdes, sans qu'il se produise ni échauffement ni secousses. C'est là un avantage précieux, qui a contribué largement à répandre l'emploi de l'eau comprimée pour la manutention des fardeaux.

L'*électricité* commence à servir assez souvent pour la manœuvre des treuils, des grues et surtout des ponts roulants. Deux ponts de ce genre ont fourni un service parfaitement régulier pendant toute la durée de l'Exposition de 1889 et concouru au montage d'énormes pièces mécaniques.

Certains appareils de levage atteignent une puissance extraordinaire; la maison Bon et Lustremant établit, pour nos arsenaux, des grues pouvant porter 160 tonnes.

Dans un autre ordre d'idées, il y a lieu de signaler les grues et autres appareils spécialement appropriés aux grands travaux métalliques, qui jouent un rôle de plus en plus considérable dans l'architecture contemporaine. Les grues Guyenet, employées à la construction de la Tour Eiffel, en fournissaient un exemple remarquable.

Une étude sommaire des ponts roulants pour usines, des grues à cuiller pour les grains ou le sable, des machines à mâter, des appareils propres à charger ou à décharger la houille et les minerais, serait fort intéressante; mais elle sortirait du cadre de ce chapitre.

4. Ascenseurs et monte-charge. — La première apparition des ascenseurs date de l'Exposition universelle de 1867. Des appareils de ce genre transportaient le public au sommet de la galerie des machines; ils eurent un très grand succès. Aussitôt après, les hôtels de premier ordre et les principaux magasins de nouveautés de Paris

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mirent des installations analogues à la disposition de leur clientèle. Les ascenseurs ne s'introduisirent que plus lentement dans les maisons particulières; à cet égard, certains problèmes restaient à résoudre et leur solution pratique devait encore exiger d'assez longues études.

Dans les grands établissements, où les ascenseurs desservent un mouvement assez actif, toutes les manœuvres sont faites par un surveillant spécial. Au contraire, dans les maisons particulières, l'appareil est manœuvré par les personnes mêmes qui s'en servent; il est donc indispensable que ces manœuvres soient d'une extrême simplicité, que le départ s'opère sans effort, que l'arrêt à l'étage se fasse automatiquement, que les portes des cabines et des paliers s'ouvrent et se ferment au moment voulu. Après beaucoup de tâtonnements et de recherches ingénieuses, les constructeurs sont parvenus à créer des dispositifs satisfaisants.

C'est l'eau sous pression qui fournit ordinairement la force motrice. Pour la plupart des installations, on peut se borner à mettre la machine en relation avec une conduite ordinaire de distribution d'eau; sinon, on emploie une pompe à vapeur pour refouler l'eau dans un réservoir ou dans un accumulateur.

En général, la cabine est équilibrée par des contrepoids; un guidage la dirige dans sa translation verticale. Un piston de presse hydraulique lui communique le mouvement, soit sans intermédiaire, soit par des chaînes mouflées ou des câbles métalliques. Ce second système réduit beaucoup la course du piston, place le cylindre moteur entièrement au-dessus du sol, simplifie par suite la construction et l'entretien, mais rend l'équilibre plus difficile à réaliser. Avec le premier système, celui de l'action directe, la cabine est reliée à la tête d'un piston plongeur, dont la longueur surpasse un peu la course totale et qui pénètre dans un cylindre en fonte placé au-dessous du sol : la machine coûte davantage, mais s'équilibre plus aisément; les deux ascenseurs de 60 mètres, établis dans les tours du Trocadéro lors de l'Exposition de 1878, étaient de ce dernier type.

La distribution de l'eau en pression est commandée par un long

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

câble vertical passant dans l'angle de la cabine et par une tringle extérieure. Une combinaison de saillies fixées à la cabine, de doigts montés sur la tringle de manœuvre, de verrous mobiles et d'enclenchements, assure les arrêts automatiques, ainsi que l'ouverture et la fermeture des portes.

Quelques constructeurs ajoutent des parachutes aux appareils, afin d'accroître la sécurité. Mais, dans bien des cas, l'efficacité de ces organes est assez douteuse.

Depuis 1878, les ascenseurs se sont encore perfectionnés et vulgarisés. Le tome II de ce rapport (Travaux de l'Exposition universelle de 1889) contient des indications détaillées sur les ascenseurs de MM. Roux, Combaluzier et Lepape, de M. Otis et de M. Édoux, qui desservent la Tour de 300 mètres[1]; je n'ai point à y revenir ici. On trouvera de même dans le tome III (Exploitation et services divers de l'Exposition) des renseignements complets relativement à quatre ascenseurs dont était pourvu le Palais des machines, savoir : 1° deux ascenseurs hydrauliques installés par M. Samain, présentant comme particularités spéciales le remplacement des contrepoids par un compensateur hydraulique et, pour l'un d'eux, la substitution d'un piston télescopique au piston ordinaire; 2° un ascenseur hydraulique monté par M. Édoux; 3° un ascenseur électrique dû à M. Chrétien[2]. Les ascenseurs ordinaires des habitations continuent à se ranger dans les deux types principaux à action directe et à chaîne mouflée.

Les *monte-charge*, destinés à l'élévation des fardeaux de toute nature, fonctionnent aussi le plus souvent par l'eau comprimée. On a créé, dans ce système, des appareils d'une puissance considérable, capables de soulever un bateau chargé; nous y reviendrons dans le volume suivant, à propos du matériel des travaux publics.

Sans proscrire la vapeur, on y recourt moins fréquemment. Elle ne donne point, à beaucoup près, la même précision de manœuvre que l'eau sous pression.

[1] Tome II, page 295 et suivantes.
[2] Tome III, page 213.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Un système pneumatique est appliqué dans plusieurs usines anglaises.

§ 10. Mesure du travail et de la force.

1. Appareils de pesage. — Parmi les instruments qui servent à la mesure des forces, la catégorie la plus nombreuse est celle des appareils de pesage. Ces appareils affectent des formes très diverses, suivant l'usage auquel on les destine. Durant ces dernières années, leur construction a fait des progrès considérables, sans qu'aucun principe nouveau ait d'ailleurs été découvert.

En général, les *balances* sont fondées sur le principe du levier. Tel est notamment le cas des balances de précision, qui permettent de peser des poids de plusieurs kilogrammes avec une erreur moindre que le dix-millionième. Mais nous n'avons point à étudier ici ces balances spéciales, qui appartiennent au domaine de la science, de la physique, de la chimie, non plus que les balances employées par certains services publics, comme celui des monnaies et celui des tabacs; il faut nous en tenir aux balances d'un usage général.

La simplicité, la facilité de manœuvre, la lecture facile des résultats sont, avec l'exactitude, les principales qualités requises des balances à l'usage du commerce.

Pour les faibles charges, on se sert de la *balance ordinaire* et surtout de la *balance de Roberval* (1670), dont l'emploi est plus commode parce que les plateaux se trouvent au-dessus du fléau.

Avec la *romaine,* il n'est pas nécessaire de recourir à un nombre plus ou moins grand de poids marqués pour faire équilibre au corps à peser. Un contrepoids, de masse invariable, glissant le long du grand bras du fléau, en tient lieu. Cet appareil donne des pesées très rapides; en revanche, sa sensibilité laisse à désirer.

Dans la balance à levier coudé ou *peson,* il n'y a aussi qu'un contrepoids; mais celui-ci reste fixé au même point du fléau, et le résultat de la pesée est fourni par l'inclinaison variable du bras sur la verticale. Le peson sert principalement comme pèse-lettres.

On emploie aussi des *pesons à ressort,* soit quand le poids est très

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

faible, soit quand la rapidité importe plus que l'exactitude. Ces instruments sont très répandus en Angleterre.

Les fortes pesées, qui n'exigent pas beaucoup de précision, s'effectuent à l'aide de *balances-bascules*. Le fardeau prend place sur une plate-forme horizontale, dont les mouvements sont communiqués à un fléau de balance par un système de tiges et de leviers articulés. Souvent la plate-forme est au niveau du sol, de manière à recevoir plus facilement soit des colis, soit des bestiaux, soit des véhicules vides ou chargés; les dispositions varient d'ailleurs avec la situation des lieux et la destination particulière des appareils. Pour les très fortes charges, l'instrument devient un *pont-bascule;* il est utilisé sous cette forme par les administrations de chemins de fer, les services d'octrois ou de poids public, les usines, les docks, les charbonnages, les abattoirs, les exploitations agricoles. La multiplicité des points de suspension ne permet pas aux bascules d'avoir la sensibilité des balances ordinaires. Un type bien connu de bascule portative est celui qu'imagina Quintenz, en 1821, et que perfectionnèrent Rollé et Schwilgué.

Tantôt l'équilibre s'obtient au moyen de poids marqués, comme dans les balances ordinaires, à cette différence toutefois que le fléau a deux bras inégaux et qu'on équilibre la charge par un poids 10, 100 ou 1,000 fois moindre; tantôt et plus souvent, il se réalise à l'aide d'un poids unique, mobile le long du grand bras du fléau, qui est gradué en divisions d'égale longueur. C'est à ce dernier genre de bascule, perfectionné par Béranger, que les administrations de chemins de fer ont eu exclusivement recours jusqu'à une époque récente. Aujourd'hui on préfère souvent pour cet usage les *bascules automatiques :* elles indiquent immédiatement le poids, par la position d'une aiguille sur un cadran; dans la romaine automatique de Trayvou, la tige de traction, destinée à transmettre les oscillations du plateau, agit sur un fléau à came et contrepoids, qui tourne d'un angle proportionnel au poids déposé sur le plateau.

A l'Exposition de 1878, on remarquait le dispositif ingénieux par lequel M. Chameroy est parvenu à imprimer automatiquement le ré-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sultat des pesées. Un autre fait également remarqué était l'emploi de romaines suspendues, appliquées aux grues, treuils, ponts roulants et autres appareils de levage : la manipulation des fardeaux lourds étant toujours assez coûteuse, il y a une notable économie à réunir en une seule les deux opérations du levage et de la pesée; cependant ces bascules en l'air ne sont pas très répandues.

Mentionnons enfin l'usage si fréquent aujourd'hui des *distributeurs automatiques.*

2. Dynamomètres. — Pendant longtemps, la pesanteur a été la seule force naturelle que l'on se préoccupât de mesurer. Le progrès industriel est venu plus tard introduire la précision dans la mesure des autres forces, pour lesquelles on se contentait auparavant d'approximations plus ou moins grossières; cette tendance s'est manifestée pour la première fois, avec toute sa netteté, à l'Exposition de 1878.

Les forces à l'état statique se mesurent au moyen des *dynamomètres* ordinaires, appareils assez simples qui se composent essentiellement, pour la plupart, d'un ressort taré que l'on soumet à l'action de la force.

Quelque élémentaire que soit le problème, il soulève néanmoins de sérieuses difficultés quand l'effort devient considérable, ce qui est par exemple le cas des essais mécaniques de métaux. Or un des traits caractéristiques de la métallurgie moderne est la précision avec laquelle elle doue ses produits des propriétés requises pour leur destination; il lui faut, à cet effet, des instruments de contrôle d'une haute puissance, ne le cédant presque pas en rigueur aux appareils de laboratoire les plus parfaits. L'usage de ces instruments s'est d'ailleurs étendu aux grands consommateurs de métaux, aux ateliers de la Guerre et de la Marine, aux compagnies de chemins de fer, aux principales maisons de construction. On essaye les métaux à la traction, à la compression, à la flexion, à la torsion; dans les essais à la traction, qui sont les plus usuels, il s'agit de déterminer les allongements sous diverses charges, de fixer notamment la charge maximum que peut supporter le métal et l'allongement au moment de la rupture.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'effort est habituellement produit par un piston hydraulique ou par une vis, et mesuré par une romaine; parfois, comme dans la machine Thomasset, on évalue l'effort au moyen d'un manomètre à air libre.

A côté des machines destinées aux essais des métaux se placent des machines d'une moindre puissance, ayant pour objet l'épreuve des divers matériaux employés dans les constructions ou dans l'industrie. Tels sont les appareils à éprouver la résistance des ciments, des mortiers, des agglomérés, etc., les dynamomètres pour l'essai des fils, tissus, rubans, etc.

Il convient de mentionner aussi les *manomètres*, propres à mesurer la pression des fluides, notamment de la vapeur. On construit maintenant des manomètres à tubes, mesurant jusqu'à 1,500 atmosphères; ils sont tarés directement, à l'aide de pistons hydrauliques, dont le frottement contre leurs garnitures est annulé par des artifices spéciaux.

Souvent on a besoin de connaître, non seulement l'effort à un instant déterminé, mais encore la série continue des valeurs par lesquelles passe cet effort variable pendant un certain temps. C'est le cas, par exemple, des machines en mouvement dont l'étude expérimentale complète exige des notions précises sur les forces qui se développent à chaque instant de la marche et pour chaque position géométrique des organes. Les résultats se traduisent matériellement par un *diagramme*, ayant comme ordonnées les valeurs de la force et comme abscisses le temps, le déplacement de l'un des points du système, la vitesse de ce point, ou une fonction plus ou moins immédiate de l'une de ces variables. Quand les coordonnées sont la force et le déplacement du point d'application suivant la direction de cette force, la quadrature du diagramme mesure le *travail* développé.

James Watt a, le premier, mesuré de cette manière le travail de ses machines à vapeur. Son *indicateur* enregistrait les pressions de la vapeur, en traçant une courbe sur une feuille de papier animée d'un mouvement transversal proportionnel à celui du piston. Repris et étendu, il y a plus d'un demi-siècle, par Morin, ce procédé d'enregistrement automatique a pris de nos jours une importance considé-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rable dans toutes les sciences d'observation; il permet d'étudier dans leurs moindres détails les phénomènes les plus complexes, l'explosion de la poudre et le mouvement du projectile dans les armes de guerre, la production des ondes sonores par la parole humaine, les faits météorologiques, les marées, etc.

On conçoit tout l'intérêt qui s'attache à la détermination expérimentale du travail engendré par un moteur en un temps donné ou transmis par lui à l'une des machines d'un groupe qu'il dessert. Les dynamomètres employés pour cet objet présentent des dispositions variables et se divisent en deux grandes classes, selon qu'ils mesurent un effort de traction ou le travail transmis par un arbre tournant.

Les *dynamomètres de traction* sont destinés à la mesure du travail effectué par le moteur d'un véhicule. Ils sont ordinairement composés de ressorts, avec appareil enregistreur, et s'appliquent notamment sous cette forme au tirage des chevaux sur les voitures et les machines agricoles (dynamomètres de Morin, de Bentall, etc.). Pour la traction des locomotives sur les trains de chemins de fer, on emploie des appareils spéciaux tels que ceux qui figuraient à la classe 61 (Matériel des chemins de fer) et dont rend compte le rapporteur de cette classe, M. Clérault.

A la même catégorie d'appareils dynamométriques appartiennent les indicateurs de Watt, qui donnent et représentent les pressions sur le piston d'une machine à vapeur, ainsi que le travail de chaque révolution. Ces instruments ont été perfectionnés par Field, MacNaught, Combes, Morin, Clair, etc.; il en existe actuellement des types nombreux, au nombre desquels ceux de Richards et de Marcel Deprez. Leur emploi donne le moyen de contrôler efficacement le réglage de la distribution des machines.

L'indicateur ne donne que le travail sur le piston, le *travail indiqué* et non le travail disponible sur l'arbre ou sur un point quelconque de la transmission; il laisse en dehors le travail absorbé par les frottements et par les résistances passives des organes qui transmettent la puissance.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pour la mesure du travail disponible sur un arbre, on a les *dynamomètres de rotation*, qui se distinguent en *dynamomètres d'absorption* et *dynamomètres de transmission*.

Le principe des dynamomètres d'absorption est fort simple. On oppose à l'action motrice une résistance qui l'équilibre et dont la mesure soit facile; cette résistance consiste dans le frottement d'un frein, serré au degré nécessaire pour soulever un poids fixé à l'extrémité d'un bras de levier. Le type le plus répandu des dynamomètres d'absorption à frottement est le frein de Prony (1821). Parmi les modifications les plus intéressantes qu'a reçues le modèle primitif, je citerai celles qui tendent au refroidissement de la poulie du frein par une circulation d'eau, ainsi que les dispositifs imaginés pour le réglage automatique du frottement[1].

Mentionnons aussi le dynamomètre d'inertie de W. Froude, qui repose sur un principe différent de celui des freins à frottement.

L'expérience au frein de Prony ou à tout autre dynamomètre d'absorption indique le travail recueilli sur la poulie à laquelle il est adapté. Souvent on procède ainsi aux essais des petites machines. Les *dynamomètres de transmission* s'emploient plus rarement. Ces appareils mesurent la portion de travail transmis à une machine par un arbre moteur qui en dessert plusieurs autres; ils substituent à la transmission dont le travail doit être déterminé une transmission temporaire, composée d'organes tels que leurs tensions ou leurs déformations puissent s'observer facilement ou s'enregistrer automatiquement.

Un des plus anciens dynamomètres de transmission paraît être celui de White (vers 1801), où la poulie motrice, mise en mouvement par une courroie, conduit une poulie folle par l'intermédiaire de roues d'engrenages; la poulie folle est reliée à la machine dont on veut éva-

[1] L'effet de ces dispositifs est ordinairement de relâcher ou de resserrer le frein suivant les variations du frottement (leviers différentiels d'Appoldt; leviers compensateurs des freins Amos; systèmes Émery, Bramwell, Deprez, etc.). Dans le frein Imray (1852), le frein funiculaire Carpentier (1879), la balance dynamométrique Raffard (1880), etc., le frottement se règle automatiquement par la variation de l'arc d'enroulement des freins.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

luer le travail résistant. Les dynamomètres Raffard, Bourdon, etc., sont également à engrenages.

Dans d'autres appareils, la poulie motrice conduit la poulie folle par l'intermédiaire de ressorts (dynamomètres Mégy, Morin, Bourry, etc.).

Il existe des dynamomètres à courroie, dont la courroie est disposée de telle sorte qu'on puisse enregistrer les variations de la différence entre les tensions de ses brins, en même temps que sa vitesse (dynamomètres Froude, Parsons, Tatham, Farcot, Hefner-Alteneck, etc.).

Enfin l'effort se transmet parfois directement à l'organe dynamométrique, fait habituellement d'un ressort (dynamomètres de Morin, de Taurines, de Neer, de Perry et Ayrton, etc.). Le pandynamomètre de G.-A. Hirn permet de mesurer le travail transmis par un arbre au moyen de sa torsion.

Avant de quitter ce sujet, il me reste à citer les instruments de mesure des efforts que subissent les organes d'une construction, par les déformations élastiques des organes (appareil C. Manet), et en particulier les instruments propres à mesurer la flexion des ponts en fer.

3. Indicateurs, compteurs, enregistreurs divers. — Dans un grand nombre de cas, la vitesse des machines doit rester absolument uniforme. Un certain intérêt s'attache donc aux instruments établis en vue d'indiquer et de contrôler cette vitesse. Les *indicateurs de vitesse* ou *tachymètres* sont généralement en relation avec l'arbre tournant et dérivent plus ou moins directement de l'action produite par la force centrifuge sur des masses mobiles; tantôt leurs dispositions se rapprochent de celles des régulateurs à boules, tantôt ils fonctionnent par la force centrifuge d'un liquide, en général le mercure. Aujourd'hui ces indicateurs paraissent se répandre dans les ateliers.

Les *compteurs de tours* ordinaires sont trop connus pour appeler ici des explications. Il en est de même des compteurs de pas ou *podomètres*. Jusqu'à ce jour les *compteurs horo-kilométriques* pour voitures de place entrent difficilement dans la pratique. Parmi les compteurs spéciaux,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la catégorie des *compteurs de caisse* trouve de nombreuses applications aux États-Unis.

Maintenant les *compteurs à eau* sont très usuels et comportent une exactitude comparable à celle des compteurs à gaz. Ceux qui servent à mesurer le débit de l'eau sous pression se rapportent à deux types principaux, les turbines et les machines à colonne d'eau. Les premiers ont pour organe essentiel un appareil rotatif dont ils enregistrent le nombre de tours; ils ont été d'abord les plus appréciés et s'emploient encore très fréquemment en Angleterre, en Allemagne, aux États-Unis, moins souvent en France; on peut citer les compteurs Siemens (1854), Faller, Tylor, etc. Quant aux compteurs du second type, ils mesurent directement le volume d'après le nombre de coups de piston et se généralisent au fur et à mesure qu'on recherche plus de précision; on les constitue au moyen d'un seul cylindre, comme dans le compteur Kennedy, de deux cylindres comme dans le compteur Schmid, quelquefois de trois ou même quatre cylindres; plusieurs inventeurs ont cherché, par l'emploi de diaphragmes élastiques, à éviter les perturbations notables qu'entraînent les fuites et les frottements des compteurs à piston ordinaires.

Les compteurs d'eau sans pression sont ordinairement des roues à tympan, à augets ou à palettes, des flotteurs à mouvement alternatif ou des balances. Ils répondent à un problème moins intéressant et moins difficile que celui du jaugeage des eaux sous pression.

Il faut remonter aux origines de l'industrie du gaz, pour voir naître l'idée de la vente au compteur. Vers 1815, Samuel Clegg fit en Angleterre les premiers essais d'un *compteur à gaz*, fait de deux cloches qui s'élevaient et s'abaissaient alternativement; puis il créa le type d'appareil rotatif, qui fut le point de départ des compteurs actuels. J. Malam perfectionna l'appareil de Clegg et lui donna la forme qu'il a conservée depuis, celle d'un tambour à compartiments, mobile autour d'un axe horizontal dans une enveloppe concentrique contenant de l'eau jusqu'à un niveau réglé d'avance; le volume de gaz traversant l'appareil est donné par le nombre de tours du tambour et enregistré au moyen d'un mécanisme compteur. Les constructeurs ont recherché

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

divers moyens, soit pour maintenir invariables le niveau de l'eau et par suite la capacité mesurante, soit pour rendre le mesurage indépendant des variations de ce niveau. On a aussi voulu réaliser le mesurage à l'aide d'appareils ne contenant pas d'eau; mais les compteurs secs, employés en Angleterre, sont proscrits en France.

L'industrie recueille de sérieux avantages par l'emploi des instruments enregistreurs pour contrôler les phénomènes mécaniques. C'est ainsi que les appareils enregistrant la pression de la vapeur et le niveau de l'eau dans les chaudières, ou le tirage des cheminées, facilitent beaucoup la surveillance des machines. Parfois, ces instruments permettent de saisir des phénomènes qui échapperaient complètement à l'observation directe. Les manomètres enregistreurs notamment tendent à se multiplier dans les usines.

§ 11. Pièces de mécanisme détachées.

En comparant les machines récentes à celles qui sortaient des ateliers, il y a trente ou quarante ans, on est frappé de la différence dans les proportions des organes. Les pièces modernes se distinguent par leur légèreté d'aspect, leur simplicité, leur élégance, la bonne répartition de la matière et l'utilisation rationnelle de ses propriétés; elles dénotent, à cet égard, un progrès considérable. Tout porte l'empreinte de la précision, de la sûreté, de la puissance qu'ont acquise, pendant ces dernières années, la théorie et le calcul pratique des organes. Néanmoins l'incertitude qui pèse encore sur la plupart des questions relatives à la résistance des matériaux laisse un vaste champ aux perfectionnements futurs.

Sans empiéter sur le domaine de la métallurgie, sans énumérer toutes les ressources nouvelles que l'art du fondeur et du forgeron est venu apporter à l'exécution des pièces métalliques, je ne saurais passer sous silence la profonde révolution des vingt dernières années dans l'emploi de l'acier pour les pièces de machines. Aujourd'hui les propriétés dont ce métal est susceptible sont très exactement connues; le maître de forges sait lui donner, avec une précision rigoureuse, les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qualités de résistance, d'élasticité, d'allongement, qui sont demandées par le consommateur; on produit en acier fondu des masses de toutes dimensions, saines, solides, exemptes de soufflures; aussi les usages de l'acier ont-ils pris une grande extension depuis 1878, ainsi qu'en témoignait l'Exposition de 1889.

Cette perfection atteinte par la métallurgie est due, pour une large part, aux exigences de la Guerre et de la Marine. Dans un autre ordre d'idées, les industries mécaniques ont subi l'heureuse influence de la rigueur mathématique que réclament les armes de guerre. Cette rigueur a gagné les ateliers de construction; l'interchangeabilité des pièces, l'ajustage au centième de millimètre, l'emploi de jauges et d'étalons d'une précision microscopique sont entrés dans la pratique courante. Il est vraiment merveilleux de voir les contremaîtres et les ouvriers se servir habituellement d'appareils qui, naguère, eussent fait l'admiration des physiciens les plus méticuleux. Les expositions de la maison Barriquand et de la maison Greenwood et Batley montraient à quel point sont arrivés les outils d'ajustage.

Précision dans l'établissement des plans et des calculs, précision dans les qualités des matériaux et le contrôle de ces qualités, précision dans la mise en œuvre, tels sont les éléments essentiels dont dispose le mécanicien moderne et qui lui permettent de résoudre des problèmes jusqu'alors inabordables.

FIN DU TOME SIXIÈME.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLE DES MATIÈRES.

DOUZIÈME PARTIE.

LES INDUSTRIES EXTRACTIVES. — LES PRODUITS BRUTS ET OUVRES.

(Groupe V de l'Exposition universelle internationale de 1889.)

Pages.

Chapitre premier. — Produits de l'exploitation des mines et de la métallurgie..... 3

1. Produits des industries minières..... 3
2. Métaux usuels..... 28
3. Produits de l'élaboration des métaux usuels..... 46

Chapitre II. — Produits des exploitations et des industries forestières..... 52

1. Considérations générales sur les forêts..... 52
2. Les forêts et les bois en France et dans quelques pays étrangers..... 59
3. Les produits forestiers autres que le bois..... 75
4. Statistique commerciale..... 79

Chapitre III. — Produits de la chasse. — Produits, engins et instruments de la pêche et des cueillettes..... 83

1. Considérations préliminaires..... 83
2. Produits de la chasse. Dépouilles d'animaux terrestres..... 84
3. La pêche, ses engins et ses produits..... 98
4. Produits des cueillettes..... 109
5. Observations générales sur l'Exposition de 1889..... 116

Chapitre IV. — Produits agricoles non alimentaires..... 120

1. Coton..... 120
2. Lin, chanvre et autres végétaux textiles..... 134
3. Laine..... 141
4. Plantes oléagineuses..... 158
5. Tabac..... 165
6. Houblon..... 178

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE V. — PRODUITS CHIMIQUES ET PHARMACEUTIQUES. 180

1. Observations préliminaires. 180
2. Grande industrie chimique. 185
3. Savons. 204
4. Industrie stéarique. 207
5. Pétroles. 212
6. Paraffine, vaseline. 218
7. Matières colorantes et couleurs. 220
8. Encres d'imprimerie, cirages, etc. 224
9. Caoutchouc et gutta-percha. 226
10. Produits à l'usage des sciences; alcaloïdes. 227
11. Préparations pharmaceutiques. 230
12. Huile de foie de morue. 232
13. Enseignement pratique de la chimie. 233
14. Statistique commerciale. 234

CHAPITRE VI. — PROCÉDÉS CHIMIQUES DE BLANCHIMENT, DE TEINTURE, D'IMPRESSION ET D'APPRÊT. 238

1. Observations diverses sur les fibres textiles. 238
2. Blanchiment. 242
3. Teinture et impression. 251
4. Apprêts. 266

CHAPITRE VII. — CUIRS ET PEAUX. 269

1. Notions historiques. 269
2. Tannage des cuirs forts et des cuirs mous. 272
3. Façon des cuirs pour semelles. Corroyage. 275
4. Observations diverses sur les cuirs pour sellerie, bourrellerie, équipements militaires, etc., et sur les veaux blancs et cirés. 276
5. Cuirs vernis. 277
6. Maroquinerie. Cuir de Russie. 278
7. Mégisserie. 280
8. Chamoiserie. 281
9. Cuirs hongroyés. 281
10. Parchemin. Vélin. 281
11. Statistique commerciale. 282

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TREIZIÈME PARTIE.

L'OUTILLAGE ET LES PROCEDÉS DES INDUSTRIES MÉCANIQUES.

(Groupe VI de l'Exposition universelle internationale de 1889.)

Chapitre premier. — Matériel et procédés de l'exploitation des mines et de la métallurgie 287

1. Considérations préliminaires 287
2. Exploitation des mines 288
3. Métallurgie 316

Chapitre II. — Matériel et procédés des exploitations rurales et forestières 332

1. Considérations générales 332
2. Matériel agricole 344
3. Matières fertilisantes d'origine organique ou minérale 361
4. Génie agricole 370
5. Matériel et procédés des exploitations forestières 379

Chapitre III. — Matériel et procédés des usines agricoles et des produits alimentaires. 388

1. Meunerie 388
2. Boulangerie 402
3. Biscuiterie; vermicellerie 408
4. Pâtisserie 409
5. Sucrerie 410
6. Distillerie 422
7. Brasserie 438
8. Machines à produire le froid 448
9. Huilerie 463
10. Eaux gazeuses à acide carbonique 463
11. Chocolaterie 466
12. Confiserie 467
13. Préparation mécanique des aliments 468

Chapitre IV. — Matériel des arts chimiques, de la pharmacie et de la tannerie 469

1. Produits réfractaires 469
2. Matériel de la tannerie, de la mégisserie et de la corroirie 472
3. Matériel de l'industrie chimique 475

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

4. Matériel de la savonnerie et de l'industrie stéarique..... 480
5. Appareils de la pharmacie..... 484
6. Matériel de la verrerie..... 485
7. Matériel de cuisson de la céramique..... 487
8. Matériel de la fabrication du gaz..... 490
9. Matériel de l'industrie du pétrole..... 495
10. Matériel de la blanchisserie..... 499
11. Instruments de laboratoire..... 501

CHAPITRE V. — MACHINES ET APPAREILS DE LA MÉCANIQUE GÉNÉRALE..... 502

§ 1. *Machines à vapeur.*

1. Origines de la machine à vapeur..... 502
2. Constitution progressive du type moderne..... 507
3. L'œuvre de James Watt..... 509
4. Les contemporains de Watt..... 512
5. Progrès généraux réalisés pendant la première moitié du XIXe siècle..... 513
6. Progrès généraux réalisés de 1850 à 1878..... 518
7. Quelques mots des machines mi-fixes, locomobiles et diverses jusqu'en 1878... 526
8. Les machines à vapeur à l'Exposition de 1889..... 532
9. Statistique..... 535

§ 2. *Générateurs de vapeur.*

1. Généralités sur les chaudières..... 536
2. Chaudières à foyer extérieur..... 539
3. Chaudières à foyer intérieur..... 540
4. Chaudières tubulaires..... 541
5. Chaudières à tubes bouilleurs..... 542
6. Réchauffeurs..... 544
7. Alimentation des chaudières..... 545
8. Accessoires divers des générateurs..... 546
9. Production de la chaleur..... 547
10. Observations sur les générateurs exposés en 1889..... 549

§ 3. *Machines thermiques autres que les machines à vapeur d'eau.*

1. Faible rendement thermique de la machine à vapeur ordinaire..... 551
2. Comparaison entre la machine à vapeur ordinaire et les autres moteurs thermiques..... 552

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

3. Machines à vapeur autre que la vapeur d'eau saturée 553
4. Machines à air chaud, machines à gaz 554

§ 4. *Récepteurs hydrauliques.*

1. Généralités 561
2. Roues hydrauliques à axe horizontal 562
3. Turbines 566
4. Récepteurs hydrauliques divers. Machines à colonne d'eau ou à pression d'eau. 571

§ 5. *Machines hydrauliques élévatoires.*

1. Observations générales 576
2. Pompes à piston animé d'un mouvement alternatif 577
3. Pompes rotatives 580
4. Pompes à chapelet, norias, roues à palettes, tympans, vis, écopes, etc 581
5. Pompes centrifuges 583
6. Bélier hydraulique 584
7. Appareils divers 584

§ 6. *Air en mouvement. Air comprimé.*

1. Moulins à vent 585
2. Appareils servant à la transmission du travail par l'air comprimé 587
3. Appareils à comprimer les gaz sous de fortes pressions 590
4. Machines soufflantes, ventilateurs 590
5. Machines aspirantes 592

§ 7. *Régularisation du travail des moteurs.*

1. Régulateurs 592
2. Modérateurs 594

§ 8. *Transmission du travail.*

1. Transmission du travail à petite distance 595
2. Transmission du travail à grande distance 602
3. Appareils de graissage, joints, etc 604

§ 9. *Machines servant à la manœuvre des fardeaux.*

1. Crics et vérins 607
2. Poulies, moufles, treuils galans 608

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

3. Grues, chèvres, bigues, etc. 609
4. Ascenseurs et monte-charge 610

§ 10. *Mesure du travail et de la force.*

1. Appareils de pesage 613
2. Dynamomètres 615
3. Indicateurs, compteurs, enregistreurs divers 619

§ 11. *Pièces de mécanisme détachées* 621

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires