

Auteur ou collectivité : Annales du CNAM

Auteur secondaire : Laboulaye, Charles (1813-1886)

Titre : Annales du Conservatoire des arts et métiers, publiées par les professeurs

Auteur secondaire : Laboulaye, Charles (1813-1886)

Titre du volume : 1<sup>e</sup> série, tome 11, 1879

Adresse : Paris : Librairie polytechnique de J. Baudry, 1879

Collation : 1 vol. ([2]-160-[2] p.) : ill., pl. dépl. h.t. 80 à 81 ; in-8

Cote : CNAM-BIB P 949

Sujet(s) : Conservatoire national des arts et métiers (France) -- Histoire ; Technique -- 19<sup>e</sup> siècle

Note : Cote ancienne : 8 Ku 54.

URL permanente : <http://cnum.cnam.fr/redir?8KU54-1.11>



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.

# ANNALES DU CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS

PUBLIÉES PAR LES PROFESSEURS



N° 43. — Tome XI. — 1<sup>er</sup> FASCICULE.

PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE DE J. BAUDRY, Éditeur.

RUE DES SAINTS-PÈRES, 15.

AMSTERDAM, Van Bakkenes.  
BERGAMO, Verdaguer.  
BERLIN, Erbslöh et Korn.  
BRUXELLES et LIÈGE, Decq.  
COPENHAGUE, Hest et fils.  
EDIMBOURG, Williams et Norgate.  
EDINBURGH, Roof.  
FRANCKFORT, H. Georg.  
LA HAYE, De Gruyter Frères.  
LONDRES, P.-A. Brookbank.  
LONDRES, Bartels and Lowell.

MARSALA, Bally-Bailliére.  
MILAN, Donzelli.  
MONS, Bacquaert.  
MOSCOW, Gauster.  
NAPLES, Pollicino.  
NEW-YORK, F.-W. Christier.  
SAINT-PETERSBOURG, J. Issakoff.  
TIFFIN, Casanova.  
FLORENCE, Bocca frères.  
VIENNE, Lehmann et Wentzel.

1879

**Enseignement du Conservatoire des Arts et Métiers.**

---

- GÉOMÉTRIE APPLIQUÉE AUX ARTS.** Professeur : M. LAUSSEDAUT, lieutenant-colonel du génie.
- GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE.** Professeur : M. DE LA GOURNERIE, de l'Académie des sciences, inspecteur général des ponts et chaussées.
- MÉCANIQUE APPLIQUÉE AUX ARTS.** Professeur : M. TRESCA, de l'Académie des sciences, sous-directeur du Conservatoire.
- CONSTRUCTIONS CIVILES.** Professeur : M. Émile TRÉLAT, architecte du département de la Seine.
- PHYSIQUE APPLIQUÉE AUX ARTS.** Professeur : M. Edmond BECQUEREL, de l'Académie des sciences.
- CHIMIE GÉNÉRALE DANS SES RAPPORTS AVEC L'INDUSTRIE.** Professeur : M. Eugène PELIGOT, de l'Académie des sciences.
- CHIMIE INDUSTRIELLE.** Professeur : M. Aimé GIRARD.
- CHIMIE AGRICOLE ET ANALYSE CHIMIQUE.** Professeur : M. BOUSSINGAULT, de l'Académie des sciences.
- CHIMIE APPLIQUÉE AUX INDUSTRIES DE LA TEINTURE, DE LA CÉRAMIQUE ET DE LA VERRERIE.** Professeur : M. DE LUYNES.
- AGRICULTURE.** Professeur : M. MOLL, de la Société centrale d'Agriculture.
- TRAVAUX AGRICOLES ET GENIE RURAL.** Professeur : M. HERVÉ-MANGON, de l'Académie des sciences, ingénieur en chef des ponts et chaussées.
- FILATURE ET TISSAGE.** Professeur : M. J. IMRS, chargé du cours.
- ÉCONOMIE POLITIQUE ET LÉGISLATION INDUSTRIELLE.** Prof. : M. LEVASSEUR, de l'Académie des sciences morales et politiques.
- ÉCONOMIE INDUSTRIELLE ET STATISTIQUE.** Professeur : M. J. BURAT.
- Professeur honoraire : M. le Général MORIN, de l'Académie des sciences.
- 

*Conseil de perfectionnement du Conservatoire des Arts et Métiers :*

**MM. le général MORIN**, directeur du Conservatoire, **président**,  
**TRESCA**, sous-directeur du Conservatoire, **secrétaire**.

**MM. les PROFESSEURS DU CONSERVATOIRE.**

Et **MM. COUCHE**, inspecteur général des Mines.  
**BAILLY**, de la Société d'Agriculture.  
**FÉRAT**, d'Essonne, manufacturier.  
**PISTRELLI**, ancien chef des travaux d'art à la manufacture nationale de Sèvres.

NOTE  
SUR  
**DIVERSES VARIÉTÉS DE CAFÉ**  
ET EN PARTICULIER  
**SUR LES CAFÉS DU BRÉSIL.**

PAR M. LE GÉNÉRAL MORIN.

---

Tous les hygiénistes sont aujourd'hui d'accord pour reconnaître les propriétés salubres et stimulantes du café, et pour désirer qu'il prenne une place de plus en plus importante dans l'alimentation.

L'expérience des dernières guerres, et surtout celle de notre armée d'Afrique, ont tellement montré les avantages de l'emploi de cette substance tonique, que son usage est devenu réglementaire dans les armées, lorsque le soldat est exposé à des fatigues ou à des causes spéciales d'insalubrité.

Déjà aussi l'usage du café, comme breuvage du matin, se répand heureusement parmi les populations ouvrières et tend à y remplacer, avec grand avantage pour la santé, la funeste habitude de boire, avant de se rendre au travail, de l'eau-de-vie qui agit d'une manière si fatale sur l'organisme.

Tout ce qui peut contribuer à développer l'usage, à accroître la consommation du café, comme substance alimentaire, présente donc un intérêt spécial au point de vue de l'hygiène publique.

Sous ce rapport, les progrès de sa culture et de sa production,

l'extension de son commerce, la connaissance de ses qualités, méritent également l'attention. Si étrangère que soit l'étude de cette question à nos occupations habituelles, l'on ne s'étonnera donc pas que nous ayons cru devoir y apporter un soin particulier, lorsqu'elle nous a été soumise au sujet des cafés que nous fournit l'empire du Brésil.

*Importance de la production du café au Brésil.*

La production du café a pris dans cette riche et fertile contrée un tel développement qu'en moins de 40 ans, de 1834 à 1871, elle s'est élevée du chiffre de 47 384 tonnes à celui de 229 209 tonnes, c'est-à-dire qu'elle est devenue environ quatre fois plus considérable et qu'elle s'accroît encore rapidement d'année en année.

Au prix moyen, assez faible, de 1 fr. 50 le kil., payé au port d'embarquement, cette production agricole représente une valeur annuelle d'environ 244 millions de francs. En 1871, la consommation totale de café n'était évaluée qu'à 440 000 tonnes, et l'on verra plus loin que le Brésil seul en fournit la moitié.

D'après les documents officiels récemment publiés dans l'ouvrage intitulé *le Brésil à l'Exposition de Philadelphie*, la production du café dans cet empire dépasserait de beaucoup les chiffres précédents.

On y trouve, en effet, les résultats suivants, relatifs aux exportations de cette denrée :

DÉSIGNATION.	QUANTITÉS.	VALEURS.	PRIX MOYEN du KILOGRAMME.
Périodes ( 1870 à 1872... biennales. ( 1872 à 1874...)	131.405.379 <sup>k</sup> 188.079.068	217.029.966 <sup>f</sup> 320.150.360	4 <sup>f</sup> 65 4 70
Augmentation.....	56.673.689	103.120.400	p

L'on remarque que, par suite de la faveur justement croissante dont jouissent aujourd'hui les cafés du Brésil sur le marché européen, leur prix de vente s'est élevé, dans ces dernières années, de 1 fr. 50 à 1 fr. 65 et 1 fr. 70 le kilogramme.

Les agriculteurs brésiliens ne se sont pas contentés de développer la production du café, et ils ont successivement recherché

et mis en usage des moyens perfectionnés pour le récolter, le sécher et le préparer pour la vente.

L'on en trouvera la preuve dans le mémoire publié en 1873, par M. le docteur Joaquim Moreira, sous le titre de *Considérations sur l'histoire, la culture du caféier, et la consommation de ses produits*. Aussi, les cafés que le Brésil livre au commerce sont-ils aujourd'hui remarquables par l'uniformité, la régularité et la propreté de leur grain.

Le sol et le climat de ce pays sont tellement favorables à cette culture, qui ne s'y est réellement propagée cependant d'une manière sérieuse que depuis moins de 50 ans, qu'on peut prévoir le moment prochain où ce pays deviendra le maître du marché, et que l'abondance toujours croissante de sa production déterminera en même temps une baisse de prix et le développement si désirable de la consommation de cette denrée salubre et stimulante.

Sous ce point de vue, nous devons regretter qu'à l'inverse de ce qui se pratique en Angleterre, en Hollande et ailleurs, où le café n'est soumis qu'à des droits insignifiants, les exigences momentanées, il faut l'espérer, du budget de la France l'aient obligée à frapper cette denrée de droits exorbitants qui en doublent presque le prix, attendu que son usage ne doit plus être considéré comme une consommation de luxe, mais comme celui d'une denrée de première utilité.

On conçoit facilement, dès lors, combien la question dont nous allons nous occuper a dû nous présenter d'intérêt, abstraction faite de celui que nous inspire un pays si sympathique à la France.

Il n'est pas hors de propos cependant de faire connaître par quelle circonstance accidentelle nous avons été conduit à nous en occuper.

#### *Origine de ces recherches.*

Au mois de septembre 1877, le ministre plénipotentiaire du Brésil à Paris nous adressa M. F. Leite Ribeiro Guimaraës, habile propriétaire agriculteur de la province de Rio, qui nous pria de faire examiner, aux divers points de vue que la question comporte, deux variétés de café, sur lesquelles l'attention des producteurs de ce pays était appelée depuis 1871; l'une, à baies rouges, désignée sous le nom de café *vermelho*, et le plus ordinairement

cultivée; l'autre, à baies jaunes, appelée café *amarello*, récemment trouvée dans des forêts vierges.

Jusqu'à cette époque, les agriculteurs brésiliens avaient regardé, en effet, comme type unique du café qu'ils cultivaient celui dont les baies sont d'un rouge cerise plus ou moins foncé au moment de leur maturité complète, et qui comprenait d'ailleurs toutes les variétés connues dans le pays.

C'était, en conséquence, avec quelque surprise qu'en mai ou juin 1871 on avait trouvé dans les forêts à peu près vierges de Botucatu, province de Saint-Paul, des cafétiers sauvages dont les fruits complètement mûrs étaient d'une couleur jaune très prononcée, ce qui fit donner à cette variété le nom de café *amarello*, ou jaune, par opposition à celui du caté *vermelho* ou rouge, attribué à l'espèce ordinaire.

Un botaniste brésilien, M. Corrêa de Mello, chercha, par l'analyse chimique, à déterminer la proportion de caféine contenue dans ces graines, comparativement à celle qui se trouve dans le café rouge ou *vermelho*.

De ses recherches, il se crut autorisé à conclure qu'outre l'avantage important d'un arôme plus prononcé, le café jaune ou *amarello* avait celui de contenir une plus grande proportion de la substance tonique désignée sous le nom de caféine.

Des recherches poursuivies pendant plusieurs mois au laboratoire de notre confrère M. Péligot, tout en mettant en évidence les difficultés que présente encore la détermination exacte de la proportion de caféine, et l'insuffisance des procédés d'analyse employés jusqu'à ce jour par plusieurs chimistes, qui se sont occupés de la question, semblent justifier l'opinion émise par M. Corrêa de Mello.

Mais un fait remarquable, observé récemment par M. L. Guimaraës, paraît indiquer que le fruit du café *amarello* ou jaune serait notablement plus riche en principe sucré que celui du café *vermelho* ou rouge.

Il existe, en effet, au Brésil une très grande quantité de fourmis rouges, très avides du sucre que contiennent la canne et d'autres végétaux.

Or, des échantillons des deux variétés de café à comparer, récoltés en même temps et encore munis de leur pulpe, ayant été conservés dans des boîtes pareilles et dans un même lieu, l'on a

reconnu quelque temps après, en ouvrant ces boîtes, que la pulpe du café amarelo ou jaune avait été attaquée et presque complètement dévorée par ces petits insectes, tandis qu'ils avaient respecté celle du café rouge ou vermelho.

Si la proportion de principe sucré que contiennent les baies du café a, comme il est naturel de le penser, une influence favorable sur la qualité et l'arôme de ces fèves, l'on voit que l'intervention de ces fourmis dans la question corroborerait l'opinion du naturaliste brésilien et les résultats de l'analyse chimique, en même temps que les conclusions des essais de dégustation, que nous ferons connaître plus loin.

Les avantages de la nouvelle variété de café ne se borneraient pas, d'après M. Guimaraës, à ces propriétés déjà précieuses.

Cet habile agriculteur ayant obtenu quelques-uns des fruits de ce café sauvage, quatre seulement, en avait semé les graines dans sa propriété, voisine de Rio-de-Janeiro.

Ces semences, en fructifiant, présentèrent un développement bien plus rapide que celui des graines ordinaires et donnèrent, après vingt mois seulement de plantation, une récolte plus abondante que celle des plantes ordinaires de six ans. Après ce court intervalle de temps, les nouveaux cafiers avaient atteint une hauteur de plus de deux mètres, à laquelle ne parviennent les arbustes ordinaires qu'après cinq ou six ans. Cet agronome fait remarquer, d'ailleurs, que le terrain qu'il consacrait à ces essais comparatifs, situé près du littoral de la province de Rio, n'est pas, à beaucoup près, dans des conditions de fertilité et de douceur climatérique aussi favorables que les terres de l'intérieur et qu'aucun moyen spécial n'avait été employé pour en augmenter la richesse.

Les graines du nouveau café avaient été semées comparativement dans les mêmes terrains que celles du café rouge ordinaire et soignées dans des conditions identiques.

M. Guimaraës ajoutait que les cafiers jaunes et encore jeunes qui, en 1874, lui avaient déjà donné une bonne récolte, en avaient produit une plus abondante encore en 1875; offrant ce résultat nouveau, pour la contrée, de la reproduction du fruit sur les mêmes axilles qui avaient fructifié l'année précédente, tandis que le caffier ordinaire, parvenu à son état normal, ne produit pas deux bonnes récoltes successives, dont l'intervalle

est souvent de près de quatre ans, sans que jamais, dit-il, la fructification ait lieu d'une année à l'autre sur les mêmes axilles.

Les résultats obtenus par la culture de ce nouveau café ont naturellement excité l'attention de l'agriculture et du commerce brésiliens, et il était d'un grand intérêt de reconnaître si, à la précocité, à l'abondance de la production<sup>1</sup>, à son arôme agréable, la nouvelle variété réunissait la propriété d'être aussi riche en caféine que le café rouge, dont la culture de plus en plus développée est devenue une source croissante de richesse pour le Brésil.

Tels furent les motifs qui engagèrent, en 1873, M. Ribeiro Guimaraës à demander le concours du Conservatoire des arts et métiers pour la solution de cette question intéressante.

Après en avoir conféré avec mon savant confrère, M. Péligot, qui s'était antérieurement occupé de l'étude des propriétés chimiques et physiologiques du thé, nous résolvîmes de donner à cette question, aujourd'hui si importante pour les pays de production, pour notre commerce et pour l'hygiène publique, l'attention qu'elle méritait et d'étendre les recherches, qui nous étaient demandées, aux principales sortes de café qui entraient dans la consommation en France.

#### *Difficultés de la question.*

Cette comparaison des diverses variétés de café de différentes provenances est en elle-même une question assez complexe et délicate, car elle se compose de deux parties très distinctes, dont l'une, la détermination de la proportion de cette substance amère qu'on nomme la caféine, est du ressort de l'analyse chimique, et dont l'autre, l'appréciation de la saveur ou de l'arôme, est essentiellement influencée par le goût personnel et par l'habitude des consommateurs, en même temps qu'elle dépend beaucoup des soins apportés à la culture, à la récolte, de l'état de siccité, de l'âge plus ou moins avancé de la graine, du mode de préparation de l'infusion.

1. Au sujet de la précocité et de l'abondance, de la production et de l'arôme, il conviendra de s'assurer, si, comme pour d'autres végétaux transportés d'un sol pauvre dans un terrain plus riche, la supériorité du café jaune ne diminue pas avec le temps. Dans le cas où elle s'amoindrirait, il faudrait recourir à la graine sauvage pour la reproduction.

La première partie était du ressort de la chimie organique, et notre confrère, M. Péligot, avait bien voulu se charger de la direction des analyses délicates qu'elle comporte.

Malheureusement, après de nombreux essais, il a reconnu que les divers procédés employés jusqu'à ce jour pour parvenir à une détermination exacte de la proportion de caféine sont loin d'avoir à ses yeux une précision suffisante, et ne conduisent même pas à des résultats assez régulièrement comparatifs pour qu'on puisse en tirer des conséquences utiles.

Sans renoncer à voir examiner encore la question à ce point de vue, il y a donc lieu, quant à présent, pour la chimie, de se borner à poursuivre la recherche de procédés plus précis, et nous sommes ainsi conduits à nous contenter d'étudier le côté spécial qui concerne la consommation, question compliquée aussi par beaucoup d'éléments divers, parmi lesquels le côté commercial a une importance considérable qu'il est bon de signaler de suite.

#### *Consommation du café en France.*

Il résulte, en effet, des états publiés par l'administration des douanes que le commerce total de la France en cafés divers s'est élevé, en 1874 et 1875, aux chiffres suivants :

DÉSIGNATION.	1874.	1875.
Consommation en France.....	38.708.912 <sup>k</sup>	48.013.197 <sup>k</sup>
Exportation. ....	28.274.636	43.193.929
Total. ....	67.083.568	91.209.126

Cette consommation, en France, est alimentée par des provenances diverses et dans les proportions suivantes :

PAYS DE PROVENANCE.	1874.		1875.	
	QUANTITÉS	Proportion à la consommation totale.	QUANTITÉS	Proportion à la consommation totale.
Égypte et Afrique.....	4.232.865 kilog.	0.031	4.530.172..	0.034
Indes Anglaises.....	5.328.080	0.137	7.524.383..	0.156
Indes Hollandaises.....	1.446.531	0.037	4.226.717..	0.026
Brésil.....	8.914.333	0.230	11.622.519..	0.243
Guatémala... 392.731			{ 234.625}	
Vénézuela... 3.419.047	4.347.234	0.117	5.261.310 { 3.865.485..	0.109
Île-Grenade. 1.035.436			{ 1.141.240}	
Haiti.....	11.199.433	0.290	13.057.995..	0.270
Guadeloupe... 288.431			{ 137.543}	
Martinique... 84.419	796.100	0.021	370.436 { 31.066..	0.008
Réunion... 423.830			{ 181.827}	
Diverses.....	5.444.294		7.419.665..	0.154
Total.....	38.708.842		48.013.197..	1.000

La valeur réelle de cette quantité de café consommée est à son arrivée en France :

DÉSIGNATION.	1874.	1875.
Estimée à.....	88.256.320 <sup>f</sup>	105.148.904 <sup>f</sup>
Les droits perçus à l'entrée s'élèvent à.....	60.664.324	75.033.243
Total.....	148.920.644	180.182.144

Ce qui met le prix moyen à 3 fr. 85 le kilogramme en 1874, et à 3 fr. 75 en 1875.

On voit par ces chiffres que, si la production est une source de fortune pour les pays qui fournissent cette denrée, les droits actuellement perçus ne sont pas moins profitables au Trésor et s'élèvent à 70 ou 71 pour cent environ du prix de revient en France. C'est beaucoup plus que pour le vin, et bien plus qu'il serait désirable au point de vue de la santé publique, comme nous l'avons dit plus haut.

#### *Augmentation de la consommation du café en France.*

On remarquera sans doute avec satisfaction, au point de vue gé-

néral de l'hygiène, que la consommation en France s'est accrue de 38,078,912 kil. à 48,013,497 kil. soit 10,065,715 kil. ou de 0,26 dans l'espace d'une seule année, de 1874 à 1875. A l'inverse, on verra que, dans cette consommation de la France, les cafés d'Egypte, de la côte orientale d'Afrique, connus sous le nom générique de cafés Moka, n'entrent que pour 0,031 en 1874, et que pour 0,034 en 1875, et ceux des colonies françaises, la Guadeloupe, la Martinique et la Réunion, ensemble, en 1874, pour 0,021, et en 1875 pour 0,008 seulement. Ce qui indique que dans nos colonies la production décroît notablement. Mais on peut assurer que sous le nom de cafés Moka, de Martinique ou de la Réunion, il se vend dans le commerce de bien plus grandes proportions de cafés d'autres provenances, dont les qualités permettent cette fraude commerciale, assez innocente du reste. Il en est ainsi des cafés du Brésil, qui ne figurent dans cet état, en 1874, que pour 8,914,333 kil., et en 1875 pour 11,622,519 kil. D'anciens préjugés, que le peu de soins apportés autrefois à la récolte justifiaient en partie, mais qui sont à peu près dissipés aujourd'hui, avaient conduit le commerce à les livrer comme café d'Haïti, dont l'introduction s'élevait, en 1874, à 11,199,433 kil. et en 1875 à 13,057,333 kil., tandis que ceux-ci leur sont en réalité inférieurs de qualité, comme on le verra plus loin. Le commerce est du reste aujourd'hui mieux édifié sur ce point.

#### *Influence de l'âge.*

Il en est des cafés bien récoltés de même que pour les vins, et surtout pour les vins généreux, l'âge en améliore la qualité, et une fois qu'ils sont parvenus à un degré de siccité convenable, ils se conservent indéfiniment.

On verra que nous en avons eu un exemple remarquable dans un échantillon parfaitement authentique, qu'une circonstance personnelle a mis à notre disposition, et qui provenait d'un présent fait, en 1829, à l'amiral de Rigny, après le combat naval de Navarin. On en trouvera la preuve plus loin.

Si, de même que le vin, le café n'acquiert ses qualités pour le consommateur que quand il a subi l'épreuve du temps, cette condition est aussi un obstacle à ce que le commerce le livre dans les meilleures conditions désirables.

En effet, les cafés les plus secs, dont la couleur est, en général, jaune pâle, ont une densité gravimétrique, déterminée sans tassement, d'environ 500 grammes au décimètre cube, tandis que ceux qui ont une apparence verdâtre, et dont la récolte ne date pas de plus d'un à deux ans, pèsent en moyenne 680 grammes à 700 grammes, et parfois plus au décimètre cube.

Or, le café se vendant toujours au poids, le producteur et le commerce ont intérêt à le livrer nouveau ou vert, parce que le consommateur ordinaire ne voudrait pas payer la différence de prix correspondant à celle de la densité.

Cela est si vrai, que les marchands des très bons cafés de la côte d'Afrique, dits *moka de Zanzibar*, ne peuvent habituellement livrer que des cafés de deux ans au plus, au prix de 4 fr. 80 le kilogramme, et rarement à la densité de 500 grammes, parce que si les cafés étaient parfaitement secs, ils vaudraient plus de 6 fr. 50, en tenant compte de la perte par dessiccation et de l'intérêt de leur prix d'achat.

A l'appui de ces observations, nous donnerons le tableau suivant des densités gravimétriques ou du poids du décimètre cube des différents cafés que nous avons examinés, avec l'indication approximative de leur âge depuis la récolte et du nombre de grains au décilitre.

Ce dernier renseignement, sans être bien important, n'est cependant pas indifférent à connaître, attendu que les variétés les plus fines de goût sont, en général, celles dont le grain est le plus petit, sauf certaines exceptions que nous signalerons.

## Densité gravimétrique des cafés vienç.

NOM DE LA PROVENANCE, OU MÉTHODE.	MATR de la RECOLTE.	ÉTAT ET GROSSEUR DES GRAINS.		DENSITÉ gravimétrique.	NOMMURE DES GRAINS en détails.
		1828 au plus tard	1875		
1. Moka (amiral de Riguy).		Grains réguliers, fins.		500	510
2. Moka d'Aden (Messageries).	1874	Très mûres, médiocrement résultées.		600	654
3. Moka de Zanzibar (Missionnaires).	1874	Id.		600	476
4. Java.	1874	Grains réguliers, gros.		455	398
5. Réunion.	1809	Grains réguliers, fins, légèrement pointus aux extrémités.		630	488
6. Brésil.	1879	Grains réguliers, gros.		522	594
7. Brésil de Costagallo.	1866 à 1871	Id.		625	
8. Brésil.	N° 16. 8 ans.	Id.		460	310
9. Province de Rio.	N° 17. 4 ans.	Id.		544	392
10. Vénézuela.	N° 18. 3 ans.	Id.		586	554
11. San Salvador.	1863	Grains réguliers ovales, moyens.		654	
12. Cochinchine.	1873	Id.		662	400
13. Rio-Naner.	inconnue	Grains petits, réguliers.		614	544
14. Nossi-Bé.	mais	Id.		580	618
15. Nossi-Bé (café sauvage).	tous très secs.	Grains irréguliers, moyens.		534	482
16. Gabon.		Grains réguliers ovales, très petits.		440	552
17. Kanola (Nouvelle-Calédonie).		Grains irréguliers, gros.		490	336
18. Gabon.		Grains réguliers, moyens.		570	442
19. Brésil (Capa Santa-Spirito, N° 10).	1875	Grains réguliers, gros, probablement desséchés artificiellement.		507	318
20. Ceylan (Province de Galles).	moyent, sec.	Grains réguliers, fins.		530	452
21.		Moyenne.			444

*Densité gravimétrique des cafés jeunes etverts.*

NOMMERS	PROVINCES,	DATE de la RECOLTE.	ETAT ET GROSSEUR DES GRAINS.	DENSITÉ gravimétrique. gr.	NOMBRE DE GRAINS au délitre.
					316
8	Grau.	1875	Grains réguliers, fins.....	674	
9	Plat... M. de Koch-Léao.....	1875	Id., plus petits que les précédents..	688	406
11	Rond... M. Friburgo et fils.	1875	Grains réguliers pointus, fins, fève unique....	692	400
14	Id.	1875	Grains réguliers, gros, couleur olive assez forte.	708	590
15	Cafés MM. Viburgo et fils.....	1875	Id.	700	380
13	Barao de Rio-Bonito.....	1875	Grains régulières, gros, vert olive clair....	676	398
11	Iavés.	1875	Id.	698	390
20	Comte de Paulo Santos.....	1875	Id.	694	384
12	Santos Paiva.....	1875	Grains réguliers, fins, un peu ovales....	624	466
5	Colonel Rib. de Alves.....	1875	Grains réguliers, gros....	672	398
7	Dr Christóbal Correa-Gastón.....	1875	Id.	670	458
2	R. Alves Barbosa.....	1875	Grains réguliers, moyens.....	684	398
3	V. Barra Maria.....	1875	Id.	678	410
21	pe Maxide Moreto.....	1875	Grains réguliers, gros....	657	388
22	Lucio Correa et Castro.....	1875	Vert olive, Id....	678	370
23	V. Leite Guinaraés.....	1875	Id....	698	398
24	C. Ant Estiver.....	1875	Id.	696	418
	Café Amarelo (jaune), de M. Guimaraes.	1875	Id.	640	388
	Café Vermelho (rouge)	1875	Id.	665	380
1	Province de Minas Gerais.....	1875	Grains réguliers, fins....	672	413
4	Id.	Id.	Id.	620	412
0	Id.	Id.	Id.	658	380
					395
				346	

*Observation.*—Tous les cafés du Brésil indiqués dans cette note comme cafés jeunes ou verts venaient effectivement de la récolte de l'année même, parce qu'au Brésil cette opération commence en avril ou mai et qu'elle se prolonge parfois jusqu'en septembre, même en novembre, par suite d'irrégularités dans la maturité. L'on a soin de ne cueillir les fruits qu'au fur et à mesure de cette maturité, de sorte que l'opération dure environ six mois.

*Densité gravimétrique des cafés divers (suite).*

PROVENANCES.	DATE de la récolte.	ÉTAT ET GROSSEUR DES GRAINS.	DENSITÉ gravimétrique	NOMBRE de grains au décilitre.
Brésil. M. de Noac.	1873	Grains réguliers ovoïdes, fins.	682	412
	1873	Grains réguliers, plats, fins.	662	424
Guadeloupe.	1873	Id. gros....	660	383
Martinique.	1873 à 1874	Id. moyens...	630	414
Cayes.	1874	Id. gros....	610	384
Haiti.	Saint-Marc.	Id. id....	642	358
Cap.	1874	Id. id....	616	416
Zanzibar (de la Cie Lombard).	1874	Id. fins, ....	665	502
Moyennes générales....			672	369

*De la forme générale des grains de café.*

Il était intéressant de savoir si la forme apparente des grains du café pouvait servir à en reconnaître la provenance et la variété. J'ai eu recours, à cet effet, à l'expérience de mon savant confrère, M. Duchartre, l'illustre botaniste, et je l'ai prié d'examiner, sous ce point de vue, un certain nombre de cafés, dont la provenance m'était bien connue.

Dans ce but, je lui ai remis des échantillons des variétés suivantes :

Moka très-ancien, moka de Zanzibar, Réunion, Martinique, Ceylan, Java, Saint-Domingue, Brésil, de MM. Rocha Leao, Friburgo et Leite Guimaraës.

Je transcris ici le résultat de cet examen :

« Les dix échantillons envoyés ne présentent entre eux, quant à l'apparence extérieure, que des différences peu prononcées, « et je doute qu'à l'exception d'un ou deux cas on puisse en tirer

« un caractère assez net pour faire reconnaître la provenance de chacun.

« La couleur fournirait peut-être un indice plus apparent et plus tranché, si on ne savait (comme on le verra plus loin) qu'elle est influencée par la nature du terrain, et que pour sa-tisfaire au goût de certains pays du Nord, les producteurs sont parfois conduits à donner à leur café une couleur olivâtre.  
« L'organisation intérieure étant la même dans les grains de tous les échantillons, ainsi qu'on le constate en les coupant en travers ou en long, il ne reste, comme moyen de comparaison, que l'examen des caractères extérieurs, dont on résumera les conséquences ainsi qu'il suit :

« 1<sup>e</sup> *Forme générale.* — Sous ce rapport, un seul échantillon se distingue au premier coup d'œil de tous les autres, c'est celui du café de la Réunion. Ses grains sont notablement plus allongés, relativement à leur largeur, et moins épais que tous les autres ; de plus, leurs deux extrémités sont moins obtuses et moins arrondies et presque pointues, tandis que celles de toutes les autres variétés sont fortement émoussées et arrondies. »

On verra cependant, un peu plus loin, que le café de Vénézuéla et qu'un des échantillons du Brésil, fourni par M. de Rocha Leao, se présentent dans une très grande proportion sous la forme très caractérisée de grains complètement arrondis ou ovalaires, qui ont fait l'objet d'un examen particulier de la part de M. Duchartre.

2<sup>e</sup> *Égalité ou inégalité des grains.* — L'apparence, sous ce rapport, dépend évidemment beaucoup des soins donnés à la culture et surtout à la récolte. Les cafés du Brésil, en général, et l'on pourrait dire sans exception, sont remarquables quant à la netteté, à la régularité des grains. Ceux de Saint-Domingue et de la Martinique sont aussi assez égaux. Mais il en est tout autrement des différentes variétés de café Moka et même de celui de la Réunion, quoique ce dernier soit bien trié quant au mélange de grains ou de corps étrangers.

3<sup>e</sup> *Grosseur des grains.* — On a vu dans les tableaux précédents que certains cafés du Brésil sont à gros grains, mais qu'en général ils sont de grosseur moyenne de 400 à 450 grains au décilitre, parmi ces derniers sont ceux qui ont paru les plus fins à la dégustation.

Les cafés moka et ceux de la Réunion sont aussi notablement plus petits.

*4<sup>e</sup> Proportion des grains ronds.* — Certains cafés ayant particulièrement attiré notre attention sous ce rapport, nous avons aussi soumis la question à notre confrère M. Duchartre, qui a bien voulu nous répondre dans les termes suivants :

« La baie du caféier renferme normalement deux graines, vulgairement appelées *fèves*, qui se trouvent situées en face l'une de l'autre. Il en résulte que les deux faces en regard étant formément planes, chaque graine a une face interne plane et une face externe convexe. La ligne d'union des deux faces forme une arête légèrement émoussée. Mais il arrive sur certains pieds, qui paraissent même avoir donné lieu à des races, que l'une des deux graines avorte constamment. Dans ce cas, la graine restée seule n'étant nullement générée dans son développement par une antagoniste infléchit fortement ses deux côtés, et il en résulte que la section transversale de cette graine devient à peu près circulaire, tandis que celle des graines normales est simplement demi-circulaire.

« Il semblerait que, dans les cafés formés ainsi de graines qui sont venues seules dans leur baie, les grains dussent être plus gros comme ayant été mieux nourris, mais il n'en est rien. »

En effet, en jetant les yeux sur les tableaux précédents, dont nous reproduisons quelques chiffres dans le suivant, on reconnaît que les densités gravimétriques et les nombres de grains au décilitre sont à peu près les mêmes pour les cafés ordinaires et pour les cafés ronds du même âge au même état de siccité.

Il convient d'ailleurs de faire remarquer que, dans les variétés désignées sous le nom général de café rond, la plus grande partie des graines a réellement cette forme, quoique l'on y trouve toujours quelques grains plats, de même que dans les cafés ordinaires il y a aussi une certaine proportion de grains ronds.

Le tableau suivant donne pour quelques variétés, et en particulier pour les cafés ronds, la proportion approximative des deux sortes de grains.

*Proportion des grains plats et des grains ronds dans certains cafés.*

PROVENANCE.	AGE depuis la récolte.	DENSITÉ gravimétrique.	NOMBRE de grains au défiltre.	PROPORTION DES GRAINS.	
				PLATS.	RONDS.
Moka .....	1829	500	510	62	32
Réunion.....	1869	630	488	94	6
Brésil ordinaire.....	1872	522	294	92	8
Brésil de Minas Géraes...	1873	680	412	90	5
Brésil, Rocha Leao, rond.	1875	692	400	4	96
Id.      plat.	1875	688	406	100	0
Vénézuéla.....	1863	654	400	25	75
San-Salvador.....	1873	662	" 19	81	
Nossi-Bé, cultivé.....	très sec.	584	432	93	7
Nossi-Bé, sauvage.....	très sec.	440	752	67	33
Moka Zanzibar.....	1874	661	502	91	9
(Province de Rio) de M. de Nioac.....	1873	668	424	93	7
Ceylan (Pointe de Galles).	moyen sec	580	452	90	10

Ce tableau montre, avec évidence, qu'il y a effectivement certaines variétés de cafés dont le grain rond et unique est le type, le grain plat n'étant que l'exception. Tels sont ceux obtenus au Brésil par M. de Rocha Leao, ceux de San-Salvador et de Vénézuéla.

L'on reconnaît aussi que dans les cafés fins le mieux cultivés, le nombre des grains plats domine d'autant plus que les soins apportés à la récolte ont été plus grands. Ainsi, dans le moka de choix donné, en 1829, à l'amiral de Rigny, le nombre de ces grains plats n'était que de 62 sur 100. Aujourd'hui, dans les mokas de Zanzibar, bien récoltés par les soins de la compagnie spéciale qui les exploite, il est de 91 sur 100. De même, pour le café de la Réunion, il est de 94 sur 100, pour celui de Ceylan de 90 sur 100, pour celui de Rio, qui a été donné par M. de Nioac, de 93 sur 100. Enfin, le café dit plat, de M. Rocha Leao, paraît complètement exempt de grains ronds<sup>1</sup>. Un résultat analogue s'ob-

1. On m'a assuré d'ailleurs que chez cet habile propriétaire l'on exécute mécaniquement la séparation des grains plats ou ronds; ce qui expliquerait le résultat précédent.

serve sur la plupart des cafés du Brésil, et il est remarquable que le café sauvage de Nossi-Bé présente aussi une proportion de 67 sur 100 de grains plats.

On a vu par les tableaux précédents que la densité gravimétrique moyenne des cafés secs est d'environ 530 grammes au décimètre cube, mais qu'elle s'abaisse parfois à 500 grammes et au-dessous.

Parmi les cafés vieux, il en est quelques-uns dont la densité gravimétrique excède de beaucoup la moyenne. De ce nombre sont le moka d'Aden, de Zanzibar, le café de la Réunion et celui de la Cochinchine.

Le tableau précédent relatif aux cafés jeunes ou verts, ou récoltés depuis moins d'un an, montre combien la densité est influencée par l'âge, puisque pour les cafés d'un an de récolte la valeur moyenne est de 669 grammes, soit 670 grammes au décimètre cube, tandis que pour certains cafés vieux cette moyenne ne s'élève qu'à 559 grammes; ce qui établit entre le poids du décimètre cube une différence de 110 grammes ou d'environ 21 pour cent, et obligerait à vendre de 3 fr. à 6 fr. le kilogramme des cafés vieux, tandis que la même variété de deux ans de récolte ne vaudrait que 4 fr., y compris les droits de douane en France.

On va voir cependant que pour d'autres cafés très bons, tels que ceux de MM. Friburgo et fils, la perte par dessiccation après dix à onze ans ne s'élève guère qu'à 0,40.

#### *Effets de la dessiccation naturelle des cafés.*

MM. Friburgo et fils ayant bien voulu nous envoyer récemment des échantillons de leurs cafés de Cantagallo des années 1866, 1867, 1868, 1870, 1871, 1872, 1873, 1875, c'est-à-dire de huit récoltes différentes, il nous a été possible de constater, qu'abstraction faite de l'influence parfois très sensible des variations de la saison, et des circonstances dans lesquelles la récolte a été faite, la densité gravimétrique du café de ces producteurs, qui, en 1876, avait été trouvée pour ceux de 1875 voisine de 700 grammes au décimètre cube pour les cafés non lavés, n'était plus après cinq ou six ans que de 623 grammes, et qu'à partir de cet âge elle cessait de diminuer sensiblement.

Elle a été en effet trouvée, en 1877, pour le café des années :

	1866.	1867.	1868.	1870.	1871.
Où après.. —	11 ans.	10 ans.	9 ans.	7 ans.	6 ans.
Égale à... =	627 gr.	637 gr.	618 gr.	616 gr.	622 gr.

Moyenne générale 625 grammes au déclimètre cube.

Il résulte donc de cette comparaison que le café conservé en lieu sec arrive à un état normal de siccité après cinq ans environ, et que c'est à cet âge qu'il convient seulement de le consommer.

Cet état est d'ailleurs généralement manifesté, comme nous l'avons dit, par la couleur apparente du café, qui devient alors jaune plus ou moins clair, suivant la nature du sol où il a crû et celle du climat.

Ainsi les cafés moka ont une teinte jaune-orange tirant un peu sur le rouge, dont ceux de M. Friburgo de Cantagallo et ceux de la Martinique s'approchent un peu, tandis que ceux de la Réunion sont d'un jaune plus pâle, et que ceux du Brésil, du district de Campinas, sont tout à fait pâles.

Mais on voit en même temps que la perte de poids par la dessiccation naturelle s'élève en moyenne à environ 0,40 de celui qu'a le café après la récolte, lorsqu'il est livré au commerce.

Il convient de rappeler, comme chacun le sait, que l'âge des cafés n'a pas seulement pour résultat de leur enlever une partie de l'humidité qu'ils contiennent naturellement. Il a surtout pour effet de leur faire perdre cette saveur particulière et désagréable qu'on désigne sous le nom de goût de *vert*, tout en leur conservant l'arôme particulier à chaque variété.

C'est ce qui, pour les consommateurs, donne une valeur particulière aux vieux cafés conservés dans des lieux secs, et doit engager les vrais amateurs à s'approvisionner longtemps d'avance de café comme de vin.

#### *Observation relative à l'influence du sol sur la couleur des cafés.*

Si l'âge des cafés ou le temps écoulé depuis l'époque de la récolte se manifeste d'ailleurs la plupart du temps par leur couleur plus ou moins voisine du jaune clair, il convient de remarquer,

comme nous l'avons fait, qu'ils atteignent cette teinte à des époques différentes, suivant leur couleur primitive plus ou moins foncée, selon la nature du sol et selon le climat.

D'après des renseignements qui m'ont été communiqués par un propriétaire éclairé du Brésil, et conformément aux indications données par le docteur J. Moreira, il existe dans la couleur et la qualité du café de ce pays des différences notables, principalement dues à la nature du sol et à l'exposition.

Voici ce que dit Moreira :

« Généralement, le cafier cultivé dans les terrains bas donne  
\* un fruit plus développé, d'une couleur foncée et d'une saveur  
\* peu prononcée. Celui que l'on cultive dans les terrains élevés  
\* donne de petites graines blanchâtres ayant un goût et un  
\* arôme très forts et très agréables. »

Les terres moyennement légères et siliceuses paraissent être les plus favorables à sa qualité. Celles qui sont trop riches en humus et qui ont l'aspect noirâtre fournissent des cafés moins fins, et dont la coloration plus foncée persiste plus longtemps.

Ces circonstances nous ont expliqué les grandes différences que nous remarquions, quant à la couleur des diverses variétés de cafés qui nous avaient été envoyées.

#### *Salubrité des terrains propres à la culture du café.*

Il résulte du passage de l'ouvrage de Moreira, que nous venons de citer, que les terrains propres à la production des meilleurs cafés sont les sols élevés, les terres légères et siliceuses, et par conséquent ceux qui réunissent aussi les meilleures conditions de salubrité.

Ce dernier point de vue, étranger à la question qui nous occupe, mérite cependant l'attention sous les rapports de la colonisation et de l'immigration pour laquelle la réputation d'insalubrité, injustement étendue à tout le pays, n'est nullement fondée. L'on voit, en effet, que les agriculteurs qui voudraient se livrer, au Brésil, à la culture si facile et si fructueuse du café y trouveraient à la fois profit et sécurité.

*Essais de dessication artificielle.*

L'ensemble de ces observations et la considération de l'augmentation du prix des cafés qui serait la conséquence du déchet de 0,10, résultant de la dessiccation naturelle pendant cinq ans, jointe à celle de la perte d'intérêt durant ce long intervalle, m'ont engagé à rechercher si par des moyens simples, rapides et peu dispendieux, l'on ne pourrait pas parvenir à enlever au café nouveau, en très grande partie au moins, le goût de vert qui le déprécie.

A cet effet, j'ai eu recours au procédé employé pour la dessiccation et la conservation des légumes frais : l'étuvage et la ventilation.

Les essais ont été faits avec soin dans l'usine de M. Groult ainé, habile fabricant de pâtes alimentaires, qui, pour un autre produit aussi abondant qu'important de cette contrée, a dans le Brésil des relations commerciales qu'il se propose d'étendre au grand avantage des deux nations amies.

Les premiers de ces essais ont été exécutés sur des cafés de Cantagallo de MM. Friburgo et fils, qui m'avaient été envoyés en 1876, et provenaient de la récolte de 1873. Les échantillons choisis étaient du café lavé et du café non lavé de ces producteurs.

Dans de premiers essais, la température de l'étuve a été maintenue entre 70° et 75°, mais la ventilation n'avait lieu que pendant le jour ou la moitié du temps. Le café était étendu sur des toiles métalliques, de sorte qu'il était également aéré et chauffé en dessus et en dessous.

Les résultats de ces expériences sont résumés dans le tableau suivant :

*Étuvage et ventilation des cafés à la température de 70° à 73°.*

DURÉE DE l'étuvage.	la ventilation.	PERTE PAR DESSICCIATION.		APPARENCE.
		N° 13. Café lavé	N° 14. Café non lavé	
96 <sup>h</sup>	48 <sup>h</sup>	0.102	0.102	Les deux échantillons déjà légèrement décolorés sont devenus jaunes rougeâtres, comme les cafés des mêmes producteurs de 1866, ou de onze ans d'âge.
144	72	0.102	0.090	Les deux échantillons semblent avoir subi un léger commencement de torréfaction qui n'y a pas développé de goût.
480	240	0.112	0.102	

La dégustation de ces cafés torréfiés au même degré et employés à dose égale que les cafés de même provenance, n° 13 et n° 14, a montré qu'après 96 heures seulement de séjour à l'étuve le goût de vert avait disparu, comme par la dessiccation naturelle prolongée. Mais en même temps, il a semblé qu'il serait plus nuisible qu'utile de prolonger l'opération au delà de ce terme, à moins qu'il ne s'agit de cafés tout à fait verts.

On arriverait ainsi à pouvoir livrer, peu de temps après la récolte, des cafés arrivés à très peu près au même état que s'ils étaient plus vieux de quatre à cinq ans. Il y aurait, il est vrai le même déchet de 10 pour cent que par la dessiccation naturelle prolongée, mais on éviterait la perte d'intérêt qu'elle occasionne. La dépense de combustible nécessitée par l'étuvage me semble de peu d'importance dans un pays où le combustible n'a qu'une faible valeur; mais ce chauffage exige des soins et des précautions, dont il pourrait être bon de se dispenser.

Le but principal de la dessiccation artificielle ne doit pas être d'enlever aux cafés nouveaux l'humidité qu'ils contiennent encore après la récolte, mais bien, s'il se peut, et surtout, le principe essentiel du goût de vert, et pour que l'opération s'introduise dans la pratique agricole, il faut la réduire aux termes les plus simples. Il m'a donc paru utile de chercher à la limiter à la ventilation par courant d'air à grande vitesse, à la simple tempéra-

ture de 30° à 35°, qui est celle de l'air ambiant au Brésil, au moment de la récolte.

C'est dans cette intention que j'ai fait exécuter chez M. Groult les expériences suivantes :

Quatre échantillons de 500 grammes chacun des cafés de Cantagallo, envoyés par MM. Friburgo et fils, provenant de la récolte de 1875, ce qui leur donnait déjà deux ans d'âge, ont été mis dans les étuves dont la température a été maintenue à 30° ou 35°, et ils y ont été soumis à une ventilation active, qui ne s'exerçait que pendant les journées de la semaine, tandis que les cafés sont restés avec continuité jour et nuit dans l'étuve.

La durée de cette dessiccation a été différente pour ces échantillons, et les résultats de cette expérience sont consignés dans le tableau suivant :

DURÉE DE l'étuvage.		la ventilation.	PERTE par DESSICCIATION.	APPARENCE ET OBSERVATIONS.
168 <sup>b</sup>		72 <sup>b</sup>	0.086	Ces quatre échantillons ont perdu à peu près le même poids dans l'opération, et leur apparence ne s'est pas modifiée sensiblement. Elle est restée celle de cafés de deux ans de récolte.
336		144	0.079	
504		216	0.082	
672		288	0.086	
			0.083	

A la dégustation et comparé, dans des conditions aussi identiques que possible, avec du café du même producteur de l'année 1871, c'est-à-dire après six ans d'âge de récolte, le café, ventilé à 30° ou 35° pendant trois ou quatre semaines, a paru aussi bon et de même qualité que celui de 1871, desséché naturellement.

Le café qui avait seulement subi quinze jours d'étuvage a semblé également débarrassé du goût de vert qu'il avait encore après deux années écoulées depuis sa récolte.

Pour appliquer les résultats de ces essais, le café devrait être, croyons-nous, déposé en couches de 0<sup>m</sup>,03 au plus sur des châssis garnis de toiles métalliques, qui laisseraient librement circuler l'air au-dessus, au-dessous et au travers des couches. Une étuve, ayant seulement quatre rangées de châssis de 1<sup>m</sup>,50 de largeur,

disposées sur une longueur de 10 mètres, suffirait pour débarrasser ainsi du goût de vert, en un mois environ, 2 000 kil. de café ayant passé quelque temps au soleil.

L'on comprendra sans peine, qu'étranger aux conditions de la culture et de la récolte, je me contente d'appeler l'attention des producteurs de café sur les conséquences à tirer des observations précédentes. Eux seuls peuvent en apprécier l'utilité.

### *Préparation du café.*

Les soins donnés à la préparation des cafés sont, on le sait, d'une très grande influence sur l'appréciation qu'on peut faire de leurs qualités ; aussi nous excusera-t-on d'entrer à ce sujet dans quelques détails.

L'opération la plus importante est celle de la torréfaction, qui doit être faite dans l'appareil appelé brûloir, sur un feu de charbon de bois assez vif et surtout bien constant, et en tournant l'appareil d'un mouvement lent mais continu. L'on doit s'attacher à obtenir une teinte marron, peu foncée, bien uniforme, qui cependant ne doit pas être uniquement la même pour tous les cafés. Sous l'action de la chaleur, la fève se gonfle, dégage une odeur *sui generis*, aromatique, et son volume augmente dans une proportion qui est généralement comprise entre 1,50 et 1,60, quoique pour certains cafés elle atteigne 1,75.

La perte au brûloir doit varier avec le degré de siccité du café. Pour atteindre le degré de torréfaction convenable pour les cafés secs, il ne convient pas que cette perte dépasse 0,13 à 0,15 ; mais elle peut s'élever à 0,18 pour certains cafés encore jeunes, sans que pour cela ils paraissent trop brûlés. Le goût particulier des consommateurs exerce d'ailleurs une grande influence sur cette proportion. Cependant, nous devons ajouter que, quand la perte dépasse les chiffres précédents et atteint 0,18 à 0,20 et plus, le café prend une couleur noire et une apparence huileuse qui donne, peu de temps et surtout quelques jours après l'opération, lieu à la formation de gouttelettes huileuses susceptibles de tacher le papier. Le café ainsi torréfié fournit une infusion plus forte, mais d'un goût amer et d'autant plus acré que l'opération a été poussée plus loin. Il ne convient pas d'ailleurs de brûler le café ni de le conserver brûlé plusieurs jours avant de le consommer, parce

que, même quand il n'a été torréfié qu'au degré convenable, il s'en dégage peu à peu un principe huileux, qui, en s'altérant à l'air, lui communique un mauvais goût. Quand le café a été convenablement torréfié dans les proportions indiquées ci-dessus, la dose convenable pour une tasse ordinaire d'un décilitre de capacité est de 25 grammes, ce qui, quand il est moulu, correspond à un volume d'un peu moins d'un décilitre. La proportion d'eau est pour une seule tasse d'environ un décilitre et demi, y compris celle qui reste absorbée par le marc; pour plusieurs tasses, elle peut être un peu moindre<sup>1</sup>.

Enfin, l'on doit recommander de n'employer pour l'infusion que de l'eau à une température un peu inférieure à celle de l'ébullition, de ne se servir que de vases en faïence, en porcelaine ou en verre; ce qui exclut l'usage des cafetières en métal et celui des appareils à vapeur trop préconisés.

C'est dans les conditions que l'on vient d'indiquer qu'ont été faits les essais de dégustation dont on va rendre compte, et qui ont eu particulièrement pour objet la comparaison des cafés parvenus à un état de siccité convenable pour éviter autant que possible l'influence fâcheuse du goût de vert, qui aurait fait classer défavorablement des cafés de très bonne qualité, mais pas assez vieux.

#### *Dégustation des cafés.*

Pour procéder à la dégustation des nombreuses variétés de café que nous nous proposons d'examiner, nous n'avons pas voulu, M. Péligot et moi, nous en rapporter à nos appréciations personnelles et nous avons réclamé le concours d'amateurs et de consommateurs industriels expérimentés et éclairés eux-mêmes par le public.

En conséquence, dans une première série d'essais<sup>2</sup> faits au printemps de 1876, nous nous sommes réunis à MM. Laborie, médecin, Heuzé, de la Société centrale d'agriculture, Bignon et Magny, chefs de deux grands établissements de consommation, et, dans plusieurs séances, nous avons cherché à nous rendre

1. D'après ce dosage on voit qu'au prix de 4 francs le kilogramme de café non brûlé, la tasse d'un décilitre revient à 12 centimes.

2. La dose employée dans ces essais a été de 25 grammes de café torréfié par tasse d'un décilitre.

compte des qualités relatives des vingt-trois variétés les plus complètement sèches de café dont nous puissions disposer pour le moment.

Mais, pour une partie de ceux du Brésil, parmi lesquels se trouvaient les plus renommés, qui n'étaient que de la récolte du printemps de 1875, les appréciations naturellement moins certaines n'ont pu à cette époque être que provisoires, et n'ont été produites qu'à titre de renseignements dans une première rédaction de cette note. Nous nous réservions d'y revenir plus tard, quand ils seraient parvenus à un degré convenable de dessiccation, ou quand nous aurions reçu de nouveaux échantillons plus vieux des mêmes cafés.

Grâce à l'obligeance de M. le commandant Rocha Leao, de la province de Rio, municipé de Rezende, de MM. Friburgo et fils, de la même province, municipé de Cantagal, et de M. le baron dos tres Rios, de la province de San-Paolo, Campinas, ce désir a été très largement satisfait, et nous avons reçu, outre les premiers envois, les variétés suivantes :

1° De M. le commandant Rocha Leao, des cafés des récoltes de 1875 et de 1876. Les premiers ayant déjà un commencement de dessiccation soit naturelle, soit artificielle, conservaient encore un peu l'apparence verdâtre des cafés jeunes. Leur densité gravimétrique était respectivement de 649 gr. et 663 gr.

2° De MM. Friburgo et fils, des cafés des années :

	1866.	1867.	1868	1870.	1871.	1872.	1873.	1875.
Ayant les densités gravimétriques de...	—	—	—	—	—	—	—	—
Moyenne.....								625

3° De M. le Baron dos tres Rios, de Campinas, des cafés de :

	1874.	1875.	1876.
Ayant les densités gravimétriques.	515 gr.	623	627

Ces derniers cafés, d'un jaune pâle, semblaient au premier coup d'œil parfaitement secs, et quelques grains portaient l'indice d'une dessiccation artificielle.

Une circonstance accidentelle m'avait, en outre, procuré un échantillon parfaitement authentique du meilleur café Martinique, envoyé en présent à monseigneur l'évêque de Grenoble, récemment revenu de cette colonie.

A l'aide de ce supplément, relatif à des variétés justement renommées et antérieurement très appréciées dans les expositions universelles, il m'a été possible de compléter les comparaisons antérieures.

Quoiqu'il n'existe, à vrai dire, au point de vue de l'arôme, de différence bien prononcée que pour les cafés Moka, nous partagerons cependant les cafés dégustés en deux classes.

DÉGUSTATION. — *Cafés secs ayant un arôme prononcé.*

PROVENANCE.	ÂGE depuis la récolte.	OBSERVATIONS.
Moka.....	au moins 46 ans.	Donné en 1829 à l'amiral de Riguy après le combat de Navarin. Assez bien récolté, a conservé son arôme, sa finesse de goût et a été trouvé très bon.
Moka.....	environ 12 ans..	Donné en présent à M. Bignou, par un consul à Alexandrie. A conservé son arôme et a été trouvé très bon.
Moka de Zanzibar....	2 à 3 ans.....	Fourni par la Compagnie du café de Zanzibar, très bien trié, pas encore assez sec.
Moka de Zanzibar....	5 à 6 ans.....	A été trouvé très bon. Donné par les Missionnaires de la côte d'Afrique, mêlé de grains irréguliers. Très bon.
Moka , acheté à Aden.	3 ans.....	Fourni par la Compagnie des Messageries maritimes, mêlé de grains irréguliers. Très bon.
Brésil, de Rezende, de M. Rocha-Leao.	2 ans .. . . . .	Ce café, quoique encore trop jeune, a été torréfié à 0.14 et 0.15 de perte au brûloir. Il a été comparé à diverses reprises et concurremment à doses identiques de café et d'eau, au Moka, au Martinique et au Bourbon. <ul style="list-style-type: none"> <li>1° Par rapport au Moka, il a paru posséder un arôme un peu moins fin, mais très agréable, très franche, et il a fourni, à dose identique, une infusion plus forte.</li> <li>2° Par rapport au Martinique, le café de M. Rocha Leao, fournit une infusion plus forte, d'un goût très agréable et très prononcé.</li> <li>3° Par rapport au Bourbon, ce même café a donné une infusion aussi forte, mais ayant plus d'arôme.</li> </ul> Ce café dont on avait des échantillons d'âges très divers, a été torréfié à des degrés qu'on a dû faire varier un peu avec l'âge. Celui de 11 ans d'âge, torréfié à 0.12 ou 0.13 de perte, semble un peu trop brûlé; celui de 6 à 7 ans, peut l'être à 0.15; celui de 2 ans à 0.16.
Brésil, de Cantagallo de MM. Friburgo et fils.	depuis 2 ans jusqu'à 11 ans.	Il a été comparé au Martinique et a été trouvé au moins aussi agréable comme arôme. Il donne une infusion plus forte. Par rapport au Bourbon, il a plus d'arôme et de force.
Martinique.....	très sec.....	Très bien récolté ; très bon.
Ceylan.....	très sec.....	Très bien récolté ; très bon.
Brésil , café amarelo.	18 mois.....	Ce café amarelo, à baies jaunes, remis par M. Guimaraës, est très bien récolté. Il est très bon et a de l'arôme.
Nossi-Bé.....	très sec.....	Café cultivé ; remis par la direction des Colonies. Bien récolté, bon et fin.
Brésil, province de Rio.	1873.....	Donné par M. de Nioac. Bien récolté, paraît encore un peu jeune; bon, a de l'arôme, et peut être mêlé avec des cafés doux pour en relever le goût.
Nouvelle-Calédonie...	très sec.....	Assez bon, a de l'arôme.

DÉGUSTATION. — *Des cafés doux, secs.*

PROVENANCE.	ÂGE depuis la récolte.	OBSERVATIONS.
Réunion (Saint-Leu) ..	1869 .....	Très bien récolté; d'un goût très fin et agréable.
Id. ....	1874 .....	Très bien récolté; très bon quoiqu'encore jeune.
Brésil (Province de Rio)	1872 .....	Remis par M. Guimaraës, très bien récolté; très sec, d'un goût franc et agréable.
Id. n° 16 ..	1867 (8 ans)....	Très bien récolté; très sec, goût franc et agréable.
Campinas (M. le Baron des tres Rios).....	de 4 ans et d'un an	Ce café en apparence très sec, quoiqu'encore jeune, a été brûlé à 0.15 de perte, ce qui a paru dépasser le degré convenable. Il a de l'arôme.
Brésil, de Santo Paulo Campinas, n° 17 ...	1871 (4 ans)....	Très bien récolté; très sec, goût franc et agréable.
Brésil (Santos-Palva), n° 18.....	1872 (3 ans)....	Très bien récolté; sec, goût franc et agréable.
Brésil (Province de Rio)	1874 .....	Café Vermelho, remis par M. Guimaraës, sec, goût franc et agréable.
Brésil (n° 10), Capitania de Espírito Santo...	1875 .....	Très bien récolté; très sec, probablement desséché artificiellement, goût franc et agréable.
Vénézuela.....	1865 .....	Café rond, n'ayant qu'une fève; goût doux et agréable.
San-Salvador.....	1873 .....	Café rond, n'ayant qu'une fève; goût doux et agréable.
Guadeloupe.....	1873 .....	A peu près sec, médiocrement récolté; goût doux, mais faible.
Java.....	1873 .....	Très sec, médiocre.
Cochinchine.....	1873 .....	Très sec, médiocre.
Rio-Nunez.....	1873 .....	Très sec, médiocre.
Gabon.....	1873 .....	Très sec, mauvais.
Nossi-Bé (sauvage)...	1873 .....	A petits grains ronds, à une seule fève; très sec, très mauvais.

DÉGUSTATION. — *Cafés encore trop jeunes.*

PROVENANCE.	ÂGE depuis la récolte.	OBSERVATIONS.
Brésil (Minas Geraes de Juiz de Fora).....	1875 .....	Très bon, quoiqu'encore un peu jeune.
Haiti { de St-Marc, .. des Cayes... } .. du Cap.....	1874 (2 ans)....	Encore trop jeune.   Doux, mais médiocre. Très médiocre. Médiocre, a un peu d'arôme.

## CONCLUSIONS.

L'état d'avancement de la chimie organique ne nous ayant pas permis malheureusement de tirer de cette étude, que nous poursuivons depuis deux ans, des conséquences positives quant à la composition même des différents cafés, nous sommes réduits, comme on le voit, aux résultats des appréciations personnelles que nous avons pu en faire par des dégustations attentives. Mais en cette matière, comme en tant d'autres, les goûts sont divers. Je me contente d'indiquer comme pouvant résulter des tableaux précédents les conséquences suivantes :

1° Les cafés de l'Arabie et de la côte occidentale d'Afrique, désignés sous le nom générique de café moka, sont ceux qui ont l'arôme le plus fin et le plus prononcé. Mais on a vu qu'en 1873 ces contrées n'en fournissaient réellement à la France qu'environ 0,034 de la consommation.

2° Certains cafés du Brésil, tels que ceux de Rezende, de M. Rocha Leao, de Cantagallo, de MM. Friburgo et fils, et la variété dite café amarelo, ainsi que le café cultivé à Nossi-Bé, ont un arôme égal à celui de la Martinique, dont la production est réduite aujourd'hui à moins de 0,001 de la consommation de la France, et ne peut en réalité exercer aucune influence réelle sur le marché.

3° Parmi les cafés doux, que préfèrent certains consommateurs, celui de l'Île de la Réunion paraît encore le plus délicat, mais la quantité qui en parvient en France s'élevant à peine à 0,005 de la consommation intérieure, il en résulte évidemment que, sous le nom de café de la Réunion, il s'en vend beaucoup qui proviennent d'autres pays.

4° Le plus grand nombre des cafés du Brésil suffisamment secs qui ont été essayés sont très bien récoltés, d'un goût franc, très agréable, et peuvent être acceptés par la consommation comme les équivalents du café de la Réunion.

Ils ont paru supérieurs à tous les cafés provenant des autres contrées de l'Amérique.

5° Les essais de culture de la variété de café à baies jaunes, dite amarelo, pour la distinguer de celle à baies rouges, nommée vermelho, semblent devoir être encouragés et poursuivis. Si son arôme prononcé et sa fécondité supérieure se maintiennent quand il sera cultivé en grand, dans des terrains riches et fertiles, cette variété paraît devoir contribuer à augmenter notablement la production du pays et la bonne réputation des cafés du Brésil.

En résumé, en dehors des cafés d'Arabie, de la Martinique et de la Réunion, qui, comme nous venons de le rappeler, n'entrent réellement ensemble que pour moins de 0,04 dans la consommation de la France, ce sont les cafés du Brésil qui méritent la préférence de notre commerce, non seulement à cause des soins avec lesquels ils sont récoltés, mais encore par leur bonne qualité.

## **NOTE ADDITIONNELLE**

SUR LA

# **DESSICCATION DES CAFÉS**

---

**juillet 1879**

---

La préférence que les consommateurs français accordent avec raison aux cafés secs est si générale, qu'il m'avait paru de quelque intérêt de rechercher les moyens de faire acquérir promptement aux cafés verts la qualité que l'on apprécie dans ceux qui ont déjà quatre ou cinq ans depuis la récolte.

Cette recherche, dont l'utilité était assez grande pour les consommateurs, en a malheureusement moins pour le commerce français, qui, ainsi que je m'en suis assuré, fait peu ou point de différence, quant au prix, entre les cafés vieux et les cafés nouveaux.

Cette indifférence du commerce à cet égard a donc rendu, pour le moment du moins, à peu près inutiles les expériences que j'ai poursuivies depuis plusieurs mois, à ce sujet, avec le concours empressé de M. Groult, habile fabricant de pâtes alimentaires à Paris.

Mais le goût du public peut se perfectionner, et le jour où il serait certain de trouver toujours dans des magasins connus, avec les noms des lieux de provenance et ceux des producteurs, les premières qualités de cafés du Brésil, suffisamment vieilles, sèches et exemptes du goût de vert, il paraît probable qu'une clientèle plus nombreuse serait assurée à ces produits, qu'on cesserait peu à peu en France à se laisser induire en erreur sur

les lieux d'origine et que les bons cafés du Brésil y obtiendraient, sous leur véritable nom, la faveur qu'ils méritent.

C'est ce qui m'a engagé à faire connaître, dès à présent, les essais suivis de succès que j'ai tentés pour parvenir à faire acquérir à des cafés nouveaux, sans altérer en rien leur qualité, la douceur et la finesse de goût des plus vieux.

*Effets de la dessiccation naturelle.*

J'ai fait voir, dans une précédente note sur les cafés, rédigée en 1876, que la comparaison des densités de ceux qui avaient été produits dans les cultures de MM. Friburgo et fils, pendant les années 1866-67-68-70 et 71, avec les densités des cafés nouveaux de 1875, conduisait à reconnaître que le poids du décimètre cube diminuait assez régulièrement par l'effet de la dessiccation naturelle, pendant les quatre ou cinq premières années, et qu'après ce laps de temps il devenait stationnaire.

Le café de 1875, par exemple, pesait en moyenne 704 grammes au litre et son poids s'abaissait au bout de quatre ans à 625 grammes environ, ce qui correspondait à une diminution de 79 grammes ou 0,11 de sa densité primitive.

J'ai montré aussi qu'en perdant de son poids, le café était débarrassé complètement du goût de vert si désagréable qu'offrent les cafés nouveaux et qu'il avait acquis toute sa qualité.

De même le café plat à petits grains de M. Rocha-Leao, de la récolte de 1875, examiné en 1879, c'est-à-dire après quatre ans de récolte, a aussi perdu 0,11 de son poids de 1875 et est également alors devenu fort bon.

Tout récemment encore, ayant reçu en même temps du café nouveau de la récolte de 1878, d'apparence verdâtre très prononcée et du café lavado de la récolte de 1867, provenant tous deux des propriétés de M. le baron de Sapucaia, j'ai également constaté que, par l'effet de la dessiccation naturelle, ce café avait perdu 0,11 de sa densité primitive; que celui de 1867 était très bon, tandis que celui de 1878 avait un goût de vert très désagréable.

De l'ensemble de ces résultats, observés sur des cafés d'époques

et de plantations différentes, il résulte cette conséquence importante que :

Par l'effet d'une dessiccation naturelle, prolongée pendant quatre ans environ ou plus longtemps encore sans inconvenient, le café nouveau perd en moyenne 0,11 de son poids primitif et acquiert alors seulement la bonne qualité que le consommateur français recherche.

Je dois toutefois faire remarquer que tous les résultats précédents sont relatifs à des cafés plats.

Les cafés ronds, dont le grain est presque complètement entouré par cette enveloppe dure qu'on nomme quelquefois le parchemin, se dessèchent beaucoup plus lentement, changent moins de couleur et conservent beaucoup plus longtemps le goût de vert; c'est ce que j'ai constaté en comparant, en 1879, le café rond de 1875 récolté chez M. Rocha-Leao avec le café plat du même producteur et de la même récolte.

Si la petitesse de son grain le rapproche de la grosseur de ceux du moka, dont on lui donne à tort le nom et dont il n'a nullement la forme ni la couleur, c'est donc avec raison que le commerce brésilien, malgré cette usurpation de nom, ne le classe, comme qualité, qu'au troisième rang.

En résumé, il résulte des observations précédentes que, pour que les cafés nouveaux acquièrent leur meilleure qualité, il faut et il suffit que, par l'évaporation des huiles essentielles qui leur donnent le goût de vert si désagréable, quand ils sont trop jeunes, ils aient perdu 0,11 environ de leur poids.

Tel est le but que je m'étais proposé d'atteindre dans la recherche d'un procédé de dessiccation artificielle; mais il fallait en même temps que, par l'application de ce procédé, le goût agréable de la fève ne fût pas plus altéré que par la dessiccation naturelle.

Or, celles-ci s'évaporant à l'air libre ou dans des locaux dont la température atteint rarement en France, et ne dépasse guère 30 à 35° au Brésil, la prudence conseillait de dessécher le café dans des étuves dont la température ne dépassait pas notablement ces limites et de suppléer à un excès de chaleur par une ventilation abondante, qui produisit le même effet qu'une longue exposition à l'air.

De premiers essais, exécutés en 1876 à l'usine de M. Groult, à Vitry, près Paris, m'avaient déjà montré que le résultat désiré pouvait être atteint à la température de 70 à 73° avec une diminution de densité de 0,10 environ et même à la température de 30 à 35°.

La confirmation de ces résultats, par des expériences exécutées en grand, sur des quantités notables de café, m'ayant paru d'une certaine importance, j'ai eu de nouveau recours à l'obligeance de M. Groult, qui a bien voulu mettre ses étuves à ma disposition, et j'ai demandé à M. d'Oliveira de me donner, pour les exécuter, deux sacs de café de 60 kilogrammes chacun.

Ces cafés provenaient, l'un, des cultures de M. Antonio Camargo, Campos, de Belem, de Desclavado; l'autre, de celles de M. Antonio Moreira Lima, d'Itatiba. Tous deux étaient de la récolte de 1877, et faisaient partie de l'envoi du club de Lavoura, qui a figuré à l'Exposition de 1878.

Le programme des expériences à faire était réglé comme il suit, et il a été exactement suivi :

*Expériences de dessiccation à faire sur des cafés de deux années de récolte.*

- « Le café sera étendu sur les cadres ou claires à l'épaisseur de 0,02 environ.
- « La température de l'étuve sera de 30° à 35° centigrades.
- « La ventilation aura l'activité normale de l'usine.
- « Des échantillons d'un litre chacun seront prélevés sur les cafés :

  - « 1° Avant l'étuvage;
  - « 2° Après quatre jours d'étuvage continu;
  - « 3° Après huit jours d'étuvage continu;
  - « 4° Après douze jours d'étuvage continu;
  - « 5° Après seize jours d'étuvage continu;

- « On déterminera pour chacun de ces échantillons la densité ou le poids de 1 décimètre cube, rempli sans tassemement, et l'on procédera ensuite à des observations de dégustation sur ces cafés torréfiés au même degré apparent de coloration.

Les résultats de ces expériences ont été les suivants :

*Effets de la dessiccation artificielle sur des cafés de São-Paulo,  
1876-1877.*

DURÉE DE LA DESSICCATION.	DENSITÉ ou poids du litre.	DIFFÉRENCE A LA densité primitive	PERCENTAGE de la perte.	OBSERVATIONS.
Nulle ou avant l'étuvage...	gr. 632	gr. n	n	
Quatre jours...	644	n	0.000	
Huit jours....	582	56	0.086	
Douze jours...	566	72	0.113	En apparence très sec.
Seize jours...	570	68	0.106	Id

L'on voit par les chiffres qui précèdent :

1° Qu'un étuvage de quatre jours n'a pas produit de changement sensible dans la densité;

2° Qu'après huit jours, cette densité a diminué d'environ 0,086 ou 8.6 pour 100, et qu'à partir du douzième jour elle est devenue à peu près stationnaire, après avoir subi une diminution d'environ 11 pour 100, identique à celle que produit la dessiccation à l'air libre, après un intervalle de quatre années écoulées depuis la récolte.

L'on voit enfin que, pour les cafés analogues et récoltés depuis deux ans, il ne paraîtrait point nécessaire de prolonger l'opération au delà du douzième jour, au point de vue de la dessiccation et qu'il n'en résulterait d'ailleurs que peu ou point d'augmentation dans la perte.

Il restait à reconnaître si cette dessiccation artificielle avait eu pour résultat d'améliorer la qualité et surtout de faire disparaître le goût de vert.

A cet effet une dégustation comparative a été faite, le 26 février, entre le café non étuvé, encore vert, et brûlé à 0,15 de perte au brûloir, proportion convenable pour le café vert et le café étuvé pendant douze jours et nuits, en apparence très sec et brûlé à 0,08 de perte au brûloir; ce qui l'avait amené, aussi

exactement que possible, à la même teinte marron clair que l'autre.

La dégustation a montré que le goût de vert avait complètement disparu de l'échantillon étuvé et ventilé pendant douze jours, et que le café ainsi traité pouvait être rangé parmi les meilleurs.

L'étuvage ayant été prolongé conformément au programme jusqu'au terme de seize jours, de nouvelles épreuves de dégustation comparative ont été faites :

1° Avec le café vert non étuvé et celui qui l'avait été pendant seize jours; ce qui a constaté, de nouveau, la disparition du goût de vert;

2° Entre les échantillons étuvés, l'un douze jours, l'autre seize.

Cette dernière épreuve n'a pas permis d'apprécier la moindre différence de goût et de qualité entre les deux échantillons; ce qui prouve, comme l'observation de la densité, qu'une durée de douze jours, dans les conditions où l'on a opéré, est bien suffisante pour atteindre le but proposé.

Nous ajouterons que les deux cafés fournis à ces expériences se sont montrés également bons après l'étuvage, qui a permis de les déguster dans des conditions favorables.

#### *Comparaison du café plat et du café rond de M. Rocha-Leao.*

En parlant des effets de la dessiccation naturelle, j'ai indiqué que les cafés ronds paraissaient beaucoup plus réfractaires à ses effets que les cafés plats, et il m'a semblé bon de comparer sous ce rapport ces deux variétés sur des cafés provenant du même producteur, M. Rocha-Leao, de la même récolte de 1875, et des mêmes arbres, puisqu'on sait que le café rond n'est pas une variété, comme j'avais été précédemment induit à le supposer, mais qu'il est le résultat de la cueillette faite sur les rameaux supérieurs.

Après avoir constaté que le café rond de la récolte de 1875 de ce producteur avait encore, en 1879, la même densité; tandis que le café plat de la même année avait à la dernière date perdu 10 ou 11 pour 100 de son poids primitif, j'ai procédé à une dé-

gustation comparative en faisant torréfier les deux échantillons au même degré. Les résultats ont été les suivants :

Le café rond, torréfié à 0,14 de perte au brûloir, couleur marron clair, avait encore conservé un goût de vert peu agréable.

Le café plat, torréfié à 15 pour 100 de perte au brûloir et de même couleur a été trouvé très bon, ainsi que déjà de nombreux amateurs l'ont constaté chez moi.

Ces essais, rapprochés de la permanence de densité, montrent que la présence de l'enveloppe parcheminée, qui entoure complètement la fève proprement dite des grains ronds, est un obstacle à leur dessiccation et nuit par conséquent à leur qualité.

C'est donc, je le répète, avec raison que le commerce du Brésil dans la classification des qualités de café met :

Au premier rang, le café plat à très petits grains, *mindinho*;

Au deuxième rang, le café plat à grains moyens, *regular*;

Au troisième rang, le café à grains ronds, quoiqu'il le désigne sous le nom de *moka*;

Au quatrième rang, le café plat à gros grains, *grando*.

#### *Expériences de dessiccation artificielle sur des cafés de la récolte de 1878.*

Les essais dont on vient de parler ont été faits sur des cafés de la récolte de 1876-77 envoyés, en 1878, par le club de Lavoura et qui avaient par conséquent déjà, en février et mars 1879, environ deux ans d'âge depuis la récolte.

Il m'a semblé que, pour donner aux procédés de dessiccation artificielle toute la valeur dont ils étaient susceptibles, il était nécessaire de les répéter sur des cafés aussi nouveaux que possible.

L'occasion m'en a été gracieusement offerte par M. le comte d'Eu, qui a mis à ma disposition des échantillons de café plat et de café rond provenant de la récolte de 1878 faite sur les propriétés de M. le baron de Sapucaia, province de Rio, et un échantillon de café du même producteur, récolté en 1867, c'est-à-dire ayant douze ans.

Il m'a donc été possible d'abord de constater, comme je l'ai indiqué plus haut :

1<sup>o</sup> Que la perte de densité par l'effet de la dessiccation naturelle était pour ces cafés, comme pour les autres, de 0,11 ; terme auquel elle s'arrêtait ;

2<sup>o</sup> Que ces cafés vieux étaient d'excellente qualité, d'un goût très agréable, et devaient être classés parmi les cafés doux.

*Comparaison des cafés secs (1867) de M. le baron du Sapucaia avec d'autres cafés secs du Brésil.*

Les premières comparaisons des cafés secs (*lavado*) de M. de Sapucaia ont été faites avec des cafés de M. de Rocha-Leao de 1875 et avec des cafés de Campinas de la même année.

Brûlées au même degré, ces trois variétés ont été trouvées également bonnes, mais il m'a semblé que le café lavé avait un peu moins de force que les deux autres.

*Effets de l'étuvage ordinaire.*

Ce qui m'importait, pour les nouveaux essais que je me proposais de faire, c'était de reconnaître les effets comparatifs de la dessiccation naturelle et de celle qu'on peut obtenir artificiellement, sans nuire en rien à sa qualité, pour amener rapidement des cafés tout à fait nouveaux au même état que ceux qui sont vieux de quatre ans au moins.

De premiers essais ont été faits comme les précédents avec cette seule différence que la température de l'étuve a été portée en moyenne à 45° ou 50° au lieu de 30° à 35°. Ils ont donné les résultats suivants :

L'étuvage à la température de 40° à 45° a été successivement prolongé jusqu'à 36 jours, mais il n'a pas paru avoir d'effet, quant à la diminution de la densité.

En ce qui concerne la couleur, elle a également peu varié; quoiqu'elle ait paru moins verdâtre.

A la dégustation, le café étuvé pendant 36 jours semblait avoir perdu presque entièrement le goût de vert du café nouveau.

Mais, en résumé, une dessiccation suffisante par la simple

exposition dans l'étuve paraîtrait exiger un temps trop prolongé par rapport au résultat obtenu.

*Dessiccation artificielle. — Cafés Sapucaia seuls.*

La résistance à la dessiccation dans les étuves ordinaires de ces cafés nouveaux, qui ne m'étaient pas indiqués comme ayant été obtenus par le procédé de lavage, étant très grande, j'ai dû me proposer de chercher à apprécier l'effet que ce procédé pouvait exercer sur la qualité et sur l'état de séchage du produit.

*Expériences de dessiccation artificielle sur des cafés préalablement mouillés.*

En effet, l'usage de débarrasser le café de sa pulpe, en faisant macérer les fruits par l'eau pendant quelque temps et à l'aide duquel on obtient pour le produit cette variété qu'on désigne sous le nom commercial de café lavé n'est, à ce qu'il paraît, pratiqué que par quelques producteurs de la province de Rio. J'ignore s'il l'est par ceux de São-Paulo, dont aucun des échantillons envoyés par le club de Lavoura n'en porte l'indication.

Les cafés ainsi préparés ne m'ayant offert dans les essais antérieurs aucune différence notable de grains avec les autres, j'ai cru pouvoir en conclure que l'immersion dans l'eau pendant un certain temps n'altérait pas le goût, si elle était toutefois suivie d'une dessiccation immédiate pour éviter tout effet de fermentation.

D'un autre côté, le but que je me proposais étant d'accélérer, s'il était possible, cette dessication, j'ai pensé qu'il pourrait être utile de la faciliter en ramollissant un peu l'enveloppe extérieure dure et peu perméable à l'air des grains des cafés verts, par une macération de quelques heures dans l'eau modérément chauffée, avant de les faire passer à l'étuve.

Cette opération préalable m'a paru mériter d'être essayée surtout sur des cafés ronds dont la fève complètement enveloppée ne se dessèche que beaucoup plus lentement.

En conséquence, deux échantillons de 2 kilogrammes chacun

de M. le baron de Sapucaia de la récolte de 1878, encore très verts ont été trempés pendant vingt-quatre heures dans l'eau, d'abord chaude, puis graduellement refroidie, jusqu'au lendemain, et mis à l'étuve le surlendemain, à une température moyenne de 40° à 45°.

Ils y sont restés douze jours, mais, la ventilation n'ayant eu lieu que dans la journée, ils n'ont été soumis au courant d'air que 144 heures.

Ils ont été ensuite comparés, quant à l'apparence et au goût, non seulement au café de 1878 de même provenance, lequel avait exactement le même aspect que tous les cafés du même âge, mais principalement au café sec de la récolte de 1867, vieux de douze ans. Voici les résultats de cette expérience.

Les 2 kilogrammes de café de chacune des variétés ont absorbé par l'immersion la même quantité d'eau; soit 1 kil. 360 ou 0.68 de leur poids.

Après l'étuvage, l'eau absorbée ayant été évaporée, le café plat qui avait séjourné douze jours à l'étuve, avait perdu 0,090 de sa densité gravimétrique et le café rond 0,065 seulement. Ce dernier chiffre semblerait montrer que le café rond aurait dû être maintenu plus longtemps à l'étuve, mais la dégustation n'en a pas indiqué la nécessité.

L'apparence que le café lavado de 1867, parfaitement sec, présentait avant son passage au brûloir, m'avait paru assez différente de celle des cafés ordinaires du même âge dont la couleur ordinaire est jauneclair. Il était plutôt de couleur jaune brun plus ou moins foncée et inégale.

Mais après l'étuvage, les deux échantillons de café vert de 1878, trempés à l'eau chaude, ont présenté à très peu près exactement la même coloration et le même aspect que ce café lavado de 1867 desséché naturellement.

#### *Conséquences de ces expériences.*

Cette identité montrait que le trempage des pulpes pour les séparer des fèves a, comme le trempage à l'eau chaude que j'ai essayé, l'avantage d'accélérer la dessiccation sans altérer la qualité.

Il y aurait donc lieu d'en conclure qu'il est fort à désirer que

le procédé de lavage devienne général, puisqu'après un temps moindre le café acquiert toute la qualité que lui donne la dessiccation naturelle quatre années après la récolte.

Cette conclusion est d'ailleurs conforme à l'appréciation du commerce qui, sans se rendre compte de l'effet que nous signalons et n'apprécient probablement que l'amélioration d'aspect que l'ensemble du procédé donne au produit, le cote toujours à un prix plus élevé que les autres variétés.

*Effet d'un simple trempage à l'eau chaude sur des cafés nouveaux.*

Enhardi par les résultats précédents qui pourraient encourager le développement du procédé de lavage des pulpes dans les pays de production, je me suis demandé si un trempage peu prolongé des cafés nouveaux ouverts, pratiqué aux lieux même de consommation peu de moments avant la torréfaction, n'aurait pas un effet analogue, sans que l'on fût obligé de recourir à l'étuvage.

Mais l'expérience a montré qu'un simple trempage de dix-heures et même de trente-six heures dans l'eau chaude à température moyenne ne suffisait pas pour faire disparaître le goût de vert, quoiqu'il ait paru le diminuer un peu.

Quel que soit le parti que l'on veuille tirer de ces expériences et sur lesquelles je ne me permettrai pas d'insister, elles me semblent démontrer que les procédés de préparation des cafés au moment de la récolte par le lavage immédiat des fruits et par le travail à eau courante, qu'il subit ensuite pour le débarrasser complètement de la pellicule du fruit, ont pour effet général de faciliter notablement la dessiccation, soit naturelle, soit artificielle de la fève, et de lui donner pour les consommateurs français la qualité qu'ils recherchent en général, celle de cafés doux, exempts du goût de vert des cafés nouveaux.

L'art pourrait donc dans certains cas, et en peu de jours, suppléer aux effets que le temps ne produit qu'après quelques années.

# LE COMPTEUR A ALCOOL

DE

MM. SIEMENS ET HALSKE

---

## COMPTE RENDU DU MÉMOIRE

de M. JORGENSEN,

Professeur-adjoint de chimie à l'Université de Copenhague

PAR M. ORDINAIRE DE LACOLONGE

Ancien élève de l'École Polytechnique.

L'appareil à mesurer l'alcool de MM. Siemens et Halske prendra probablement, en France, le nom de *compteur à alcool*, car il remplit, pour les spiritueux, des fonctions analogues à celles que les compteurs à eau et à gaz accomplissent pour ces deux fluides.

L'administration qui, en Danemark, correspond à nos contributions indirectes, a chargé M. Jörgensen, professeur de chimie adjoint à l'Université de Copenhague, d'étudier et d'expérimenter un compteur fourni et construit par les inventeurs, d'après des données spéciales au pays où il devait être mis en service. Le mémoire de ce savant a été publié à Berlin, en 1872, et mérite une sérieuse attention. Mais il est écrit dans une langue qui a son génie propre et qui, pour les œuvres scientifiques, se prête difficilement à la traduction littérale. Le seul moyen de le faire connaître et apprécier était donc d'en rendre compte, sans rien omettre des détails, calculs et considérations de nature à donner l'idée de la valeur réelle du nouveau compteur.

Telle est la voie que nous avons suivie.

D'après les renseignements fournis par M. Jörgensen, ni en Allemagne ni en Danemark, le mode de perception de l'impôt sur les alcools fabriqués ne satisfaisait, à l'époque, ni les agents du fisc ni les distillateurs. Un appareil annoncé comme accusant à la fois et la totalité des spiritueux produits et la quantité réelle et totale de l'alcool contenu, excitait vivement l'attention des deux parties intéressées. Il semblait, en effet, propre à faire cesser toute contestation en assurant l'équitable perception de l'impôt. Tels étaient les résultats promis par le nouveau compteur, auquel l'autorité du nom de M. Siemens aurait seule donné une grande valeur.

La mission confiée à l'honorable professeur danois était donc aussi importante que motivée.

L'organe principal du compteur est un tambour divisé en trois compartiments. Il offre une grande analogie avec le tympan, mais son fonctionnement est inverse, en ce sens qu'il reçoit le liquide par le centre et le déverse par la circonference (fig. 1). Ce tambour n'est relié à son arbre que par un seul fond (fig. 3); l'autre est ouvert pour laisser passer le tube adducteur des spiritueux à mesurer.

Dès qu'il est fabriqué, le liquide est conduit dans un récipient cylindrique A, où se passent les faits qui seront expliqués. Il arrive, par un tube  $i$ , dans un cylindre qui enveloppe l'arbre du tambour, mais sans le toucher, pour ne pas augmenter la charge des tourillons. De cette boîte concentrique, l'esprit-de-vin, dirigé par des cloisons courbes qui en calment le mouvement, pénètre dans le compartiment intérieur D du tympan. Les tôles de cuivre qui forment les parois de ce compartiment sont invariablement reliées à celles du tambour, et par suite entraînées dans son mouvement de rotation dès qu'il a lieu.

Les trois cloisons qui divisent le tambour font aussi corps avec lui et avec le cylindre D. Trois orifices,  $r^1$ ,  $r^2$ ,  $r^3$ , ménagés dans la périphérie de ce dernier, déversent, en temps voulu, le liquide dans chacun des trois compartiments I, II, III, du tympan. Contigus à ces orifices, trois tubes  $p^1$ ,  $p^2$ ,  $p^3$ , ouverts des deux bouts, sont fixés au cylindre dans le sens du rayon. Ils servent à évacuer l'air qui pourrait avoir été entraîné par le liquide, et l'air dont ce liquide prend la place. Dans le cas représenté (fig. 1), le liquide

s'écoule par l'orifice  $r^1$  dans le compartiment I, et l'air s'échappe par le tube  $p^1$ .

Comme le centre de gravité de la masse liquide est sensiblement sous l'axe de rotation pendant que la cavité I se remplit, le tambour n'a pas de mouvement appréciable. Mais arrive un moment où l'orifice  $r^1$  ne peut plus débiter tout ce qui arrive dans le cylindre D; le liquide s'y élève, gagne l'orifice  $r^2$ , le traverse et se déverse dans le compartiment II. Le centre de gravité se porte à gauche, et le tambour se met en mouvement dans le sens indiqué par la flèche. Peu après, la cavité I se vide rapidement par l'orifice  $s^1$ . Le liquide, affluent dans le compartiment II, le charge de plus en plus, et le mouvement de rotation continue. Les faits décrits se reproduisent trois fois dans chaque révolution.

Les spiritueux, sortant du tympan, tombent dans le bassin-enveloppe C. Le tuyau G les livre enfin au fabricant.

Avec cet agencement, le mouvement de rotation n'est pas uniforme, mais intermittent et saccadé, ce qui a l'avantage de faciliter la lecture des chiffres accusés par le compteur.

Tous les organes de la minuterie sont en cuivre rouge, pour que ni l'air ni le liquide ne puissent les altérer. Les parois latérales du tambour ne sont pas planes, mais bombées vers le dedans. C'est dans le but de pouvoir, par quelques coups de marteau, en augmenter la courbure et diminuer ainsi légèrement les capacités intérieures.

Si, dans le but d'arrêter le contrôle de l'appareil, le fabricant venait à obstruer le tuyau d'échappement G, il serait trompé dans son attente. Le niveau s'élèverait dans le bassin C, le syphon  $h$  (fig. 3), s'amorcerait, et le liquide tomberait sur le sol. Il pourrait aussi arriver que le liquide, débordant par-dessus les parois de l'enveloppe C, s'échappât en dehors de l'appareil clos et pointonné par l'administration. Dans l'un et l'autre cas, l'écoulement existant, le tambour fonctionnerait toujours, et la minuterie accuserait encore les volumes débités.

Chaque compartiment du tambour jauge 4 litres. Son arbre porte un pignon de 12 dents. Il commande le premier engrenage de la minuterie, lequel en a 100, et porte une aiguille parcourant un limbe gradué en un nombre égal de divisions, dont chacune accuse donc un litre écoulé.

Il est bon de remarquer que cette minuterie ne donne pas les fractions de litre.

La seconde minuterie a pour mission d'indiquer, en litres, la quantité d'alcool absolu contenue dans tout le liquide mesuré par la première. Avant de décrire les organes qui réalisent cette idée, il convient de rappeler les faits de physique qui servent de base aux calculs des inventeurs.

Quand on mélange ensemble de l'eau et de l'alcool pur, il y a dégagement de chaleur, réaction chimique et contraction. Le volume obtenu est inférieur à la somme des volumes primitifs pris séparément, et cela dans une proportion variable avec le dosage du mélange. Pour graduer un alcoomètre, il ne suffit donc pas de le plonger dans deux liquides aux titres extrêmes, de marquer les affleurements sur le tube, et de diviser leur distance en parties égales, il faut faire des mélanges titrés par centièmes et marquer chaque affleurement. C'est ainsi qu'a opéré Gay-Lussac dont l'alcoomètre est seul admis pour apprécier les spiritueux. C'est également celui qu'emploient MM. Siemens et Halske, dont nous pouvons actuellement continuer à étudier l'appareil.

Sur l'arbre du tambour (fig. 3 et 6) est calé un disque M découpé en cames. Il présente la forme d'un trèfle à 3 feuilles. Sur un arbre parallèle est calée une roue R à jante large et très saillante de chaque côté. Cette roue ne peut tourner qu'à gauche, c'est-à-dire dans le même sens que le tympan. L'arbre de cette roue est traversé, à frottement doux, par la bague d'une pièce coudée HX, formée de deux bras inégaux, solidaires entre eux et inclinés l'un sur l'autre d'un angle déterminé par des convenances de construction. Le bras le plus long est, sur sa tranche de droite, taillé suivant une courbe dont le tracé sera indiqué plus loin. Le bras le plus court H est, à son extrémité, armé d'un galet v. Il roule sur la périphérie de la feuille de trèfle, en suivant ses découpures, qui le forcent à monter ou à descendre. L'angle correspondant aux deux positions extrêmes, dont il est susceptible, est de 36° autour du centre de la roue R. Quand le bras monte, un mécanisme particulier lui fait mordre la jante de cette roue, qu'il entraîne alors avec lui en la forçant de tourner à gauche. Quand au contraire il descend, le mécanisme glisse sur la jante et la roue reste immobile. Forcément le bras courbe X suit tous les mouvements du bras H et décrit les mêmes angles.

Si le tambour débite de l'eau, c'est-à-dire un liquide dosé à 0,00 pour 100 d'alcool, le bras courbe est arrêté par un index-butoir  $x$ , représenté à plus grande échelle (fig. 4), et cela à une hauteur telle que le galet n'est plus en contact avec le trèfle. La roue R reste immobile, la minuterie également. Elle indique donc que sur 100 litres du liquide écoulé il n'y en avait aucun d'alcool.

Si le liquide est dosé à 100 pour 100, soit 1,00, si c'est, en un mot, de l'alcool absolu, le butoir  $x$  se place de telle façon que le galet et les deux bras jouissent de la plénitude de leur mouvement angulaire de  $36^\circ$ . La roue R se meut, mais seulement à gauche, et la minuterie à alcool accuse 100, c'est-à-dire le dosage 1,00.

Si le liquide contient une fraction  $m$  d'alcool, soit  $m$  pour 100, l'index  $x$  rencontre la courbe à la division numérotée  $100 \cdot m$ , et se trouve placé de telle façon que le mouvement angulaire ne peut plus être qu'une fraction  $m$  de  $36^\circ$ , soit de  $36 \cdot m$  en degrés.

Le pignon qui commande la minuterie à alcool est calé sur l'arbre de la roue R et se meut avec elle. Quand le tambour a opéré une révolution, le pignon a reçu trois mouvements angulaires. Le premier des engrenages qu'il commande est divisé de telle sorte que, pendant ces trois mouvements, il a tourné de 12 divisions. Le pignon a 20 dents, le premier engrenage 50. Le limbe sur lequel se meuvi l'aiguille montée sur cet engrenage est gradué en 100 parties égales.

Voyons ce que, dans ces conditions, cette aiguille indiquera pour un liquide contenant une proportion  $m$  d'alcool. L'index limitant alors le mouvement angulaire à  $36 \cdot m$  degrés, les trois mouvements auront fait tourner le pignon de  $3 \cdot 36 \cdot m$ , ou d'une portion de circonférence qui est

$$\frac{3 \cdot 36 \cdot m}{360^\circ} = \frac{3}{10} \cdot m.$$

Pendant ce temps, le premier engrenage aura marché d'une fraction de tour égale à

$$\frac{3 \cdot 20}{10 \cdot 50} \cdot m = \frac{6}{50} \cdot m.$$

et l'aiguille aura parcouru un nombre de divisions égal à

$$100 \cdot \frac{6}{30} \text{ m} = 12 \text{ m}.$$

Elle indiquera donc que les 12 litres de liquide écoulés par le tambour, et mesurés par la première minuterie, contenaient 12 m litres d'alcool, précisément la proportion supposée.

Voici comment la position de l'index-butoir  $x$  dépend du dosage du liquide. Avant de pénétrer dans le tympan, les spiritueux sont reçus dans un récipient cylindrique A (fig. 1), d'où un tuyau les amène au tambour. Dans ce réservoir est plongé un flotteur P (fig. 3). Il est attaché à l'extrémité d'une lame élastique Q. Plus le liquide est riche, plus le flotteur s'y enfonce, et inversement. Il fonctionne absolument comme un alcoomètre de Gay-Lussac.

La tige du flotteur est, par un joint universel, reliée à un levier ST ayant en  $y$  son axe de rotation. À l'extrémité du bras S est fixé l'index  $x$  qui traduit, mais en sens inverse, tous les mouvements du flotteur. On conçoit actuellement comment l'index peut occuper les positions extrêmes indiquées ci-dessus pour les dosages 0,00 et 1,00, et comment l'intersection de cet index avec la courbe a pu y déterminer les divisions correspondantes à ces dosages, divisions numérotées sur ce bras 0 et 100. Voyons pour les divisions intermédiaires.

Admettons que, comme pour l'alcoomètre, on ait marqué sur la tige du flotteur les affleurements constatés dans des spiritueux titrés de 3 en 3 pour 100. Pour chacun des affleurements, la pointe  $x$  du levier TS occupera une position particulière sur l'arc de cercle tracé, du point  $y$  pour centre avec  $xy$  pour rayon. Traçons cet arc; limitons-le aux positions extrêmes du style  $x$ , qui correspondent aux dosages 0,00 et 1,00; marquons-y également les 19 positions intermédiaires obtenues pour des spiritueux titrés de 3 en 3 pour 100.

Du centre de la roue R, menons un rayon à chacune des positions extrêmes du style. Le constructeur doit avoir placé ce centre de telle manière que ces deux rayons forment entre eux un angle, de 36°. Avec le plus grand des deux, traçons l'arc de cercle qui mesure cet angle. Divisons-le en 100 parties égales, et, à chaque division, menons un rayon partant du centre de la roue R. Du même centre, traçons les arcs de cercle passant par chacune des

positions du style. Numérotons de 0 à 100 les rayons et les arcs ainsi menés. Le point d'intersection d'un rayon et d'un arc de même numéro est un point de la courbe cherchée. Elle s'obtiendra donc en joignant tous ces points par un trait continu. Telle sera la forme de la tranche de droite du bras X.

On remarquera que la face de ce bras porte des divisions graduées de 3 en 3 dans une partie, et de 2 et 1/2 en 2 et 1/2 pour les titres élevés, ce qui permet, pour eux, une plus grande exactitude et des appréciations fractionnaires.

La tranche de la courbe graduée porte de petits crans. Ils ont pour but d'empêcher le style de glisser, quand il est arrivé au contact; mais ces crans empêchent sa position d'être géométriquement exacte. Il est à croire que l'erreur résultante ne dépassera pas une demi-division, et comme ces erreurs existeront tantôt en plus tantôt en moins, il y aura compensation.

L'appareil qui empêche la roue R de tourner à droite est fort ingénieux. Sa jante, avons-nous dit, est très saillante; elle pénètre de chaque côté dans une boîte en bronze. L'une de ces boîtes est fixe, L (fig. 3), et boulonnée sur le bâti portant les divers paliers. La figure 5 en représente la coupe intérieure. L'autre boîte fait corps avec le petit bras H du levier coudé (fig. 6).

Elles ont toutes deux même forme intérieure et ne diffèrent que par des détails commandés par la différence de leur position.

A l'intérieur, elles présentent cinq cavités prismatiques à base sensiblement triangulaire. Dans chaque cavité est logée une petite sphère en bronze. La face de la boîte est recouverte d'une plaquette métallique, présentant une fente circulaire pour laisser entrer la jante; ces boules ne peuvent donc tomber au dehors.

Occupons-nous d'abord de la boîte fixe (fig. 5). Si la roue R tendait à faire un mouvement à droite, elle serait arrêtée par les sphères qui, serrées par la jante contre le plan incliné de leurs cavités, caleraient cette jante comme un coin. Quand la roue tourne à gauche, les boules sont soulevées, se desserrent, et lui laissent toute liberté de mouvement.

Dans la boîte montée sur le bras H, les mêmes organes, agissant de la même façon, produisent des effets inverses. La figure 6 l'explique clairement. Quand le bras tourne à droite, les sphères échappent, glissent sur la jante qui ne bouge pas, et le levier coudé

marche seul. Quand le bras tourne à gauche, elles mordent, et le bras entraîne la roue R.

Comme ces boules tournent dans tous les sens, leur usure est uniforme et très peu sensible; elles peuvent servir pendant des années. M. Jørgensen dit l'avoir constaté.

Il importe d'avoir la certitude que le liquide jaugé par le tyman a bien la teneur en alcool indiquée par l'appareil, et pour cela que le spiritueux a une densité uniforme. Les dispositions suivantes ont pour but de l'égaliser.

En sortant du réfrigérant C (fig. 2), le liquide pénètre dans un vase fermé circulaire E (fig. 1), où s'élève une cloison concéntrique de moindre hauteur. Le liquide le plus dense descend vers le fond. Le plus léger monte directement dans le tube *a*, embranché sur le haut du vase E. Ce tube dégorge dans un petit réservoir ouvert à l'air libre. Un tuyau *c* y prend le liquide, le conduit dans une couronne annulaire percée de lumières oblongues, qui débouchent au fond du récipient A. Tel est le circuit parcouru par le liquide le plus léger.

Le plus lourd s'élève par le tube *b*, ouvert très près du fond du vase E. Il arrive, vers le milieu du récipient A, par un anneau percé de lumières, pareil à celui déjà décrit.

L'esprit-de-vin le plus lourd descend, le plus léger monte; ils se inclinent autour du flotteur P, et, ne trouvant pour sortir que les orifices *m* et *n*, s'égalisent de nouveau dans la boule où débouchent les tuyaux *f* et *g*. Après cette dernière mixtion, le liquide s'élève dans le tube *h*, d'où la conduite *i* l'amène dans le tambour, comme le représente la fig. 4.

Pour que les indications fournies par l'appareil décrit soient toujours exactes, il faudrait que les spiritueux traités fussent continuellement à la même température. Chaque compteur est établi pour les conditions spéciales où il doit fonctionner. Celui étudié par M. Jørgensen, construit pour le Danemark, était tracé pour marcher à 60° Fahrenheit, correspondant à 12° 4/9 Réaumur, et 15°,55 centigrades. C'est ce que le savant professeur danois désigne sous le nom de *température normale* de l'appareil. Dans ce qui suit, nous n'emploierons que le thermomètre centigrade.

Comme les produits de la distillation ne peuvent être constamment à la même température, et comme il importe que la posi-

tion de l'index ne soit pas modifiée par ces variations, MM. Siemens et Halske ont eu recours à un artifice de construction aussi simple qu'ingénieux. Le plongeur est formé de tôle de cuivre fort mince; sa capacité intérieure est absolument remplie d'esprit-de-vin, à la densité moyenne des qualités pour lesquelles il doit fonctionner; sa forme permet au liquide qu'il renferme de se contracter ou de se dilater. Il se comporte donc absolument comme un flotteur composé du liquide même où il est plongé, se contractant, se dilatant comme lui. Les variations de température n'ont donc pas d'influence sensible sur les résultats indiqués par le compteur. On cherchera plus loin à les apprécier.

Le flotteur, volumineux par rapport au récipient, ne prend pas immédiatement la température du liquide ambiant. Dans la pratique de la fabrication, les variations de température ne sont pas brusques; mais il est clair que, si le liquide arrivait plus chaud, l'appareil, pendant quelques instants, donnerait des indications trop élevées; puis quand, après un certain temps, le courant spiritueux se présenterait à une température moindre, les indications, pendant quelques instants, deviendraient trop faibles, ce qui constituerait une compensation d'erreur. Il importe peu que ces variations de température soient rapides ou lentes. Dans le premier cas, l'erreur sera forte et de courte durée; dans le second, plus faible et plus prolongée, et la compensation n'en existera pas moins.

Ainsi, les erreurs qui peuvent être le fait du flotteur dépendent surtout de la nature des spiritueux, qui n'ont pas tous le même coefficient de dilatation. Il est facile de montrer que les inexactitudes dues à cette cause sont également peu importantes, et qu'il est aisé d'en tenir compte.

Supposons un flotteur de volume  $V$ , formé d'esprit-de-vin, ayant, à la température normale  $T$ , une densité  $D$ . Il est plongé dans un liquide identique. Le poids  $P$  perdu par le flotteur, par suite de l'immersion, sera :

$$P = VD.$$

La température passant à  $T + t$ , la densité deviendra  $D'$ , et le volume  $V'$ . Soit  $a$  la dilatation de cet esprit, on aura :

$$(1) \quad V' = V(1 + at),$$

et les densités étant en raison inverse des volumes :

$$(2) \quad \frac{D}{D'} = 1 + at.$$

Si le flotteur imaginaire restant le même, était plongé dans un liquide de densité différente  $d$ , ayant un coefficient de dilatation  $\alpha$ , le poids  $p$ , perdu par ce flotteur dans le nouveau liquide, à la température  $T$ , sera :

$$(3) \quad p = Vd;$$

puisque, à égalité de température, le flotteur a le même volume, quel que soit le liquide ambiant.

A la température  $T + t$ , la densité devient  $d'$ , et le poids perdu

$$(4) \quad p' = V' d'.$$

Le volume  $V'$  est

$$V' = V(1 + \alpha t),$$

et le rapport des densités

$$(5) \quad \frac{d}{d'} = 1 + \alpha t.$$

L'équation (4) devient, en y remplaçant  $V'$  par sa valeur tirée de (5),

$$p' = V(1 + at) d'.$$

En y introduisant la valeur de  $d'$  tirée de (5), on a :

$$p' = Vd \frac{1 + at}{1 + \alpha t},$$

et, enfin, à cause de la valeur (3) de  $Vd$ ,

$$(6) \quad p' = p \frac{1 + at}{1 + \alpha t}.$$

Si dans cette expression  $\alpha$  est égal à  $a$ , c'est-à-dire si le liquide dont le flotteur est composé et celui où il est immergé ont même coefficient de dilatation, on a aussi

$$p' = p.$$

C'est-à-dire que, dans ce cas, à toute température, le poids perdu par le flotteur est constant et égal au poids primitivement déterminé pour la température normale. On l'avait précédemment

avancé. Dans tout ceci, on a négligé l'influence de la dilatation des minces parois métalliques du flotteur, influence sans importance dans la limite des températures auxquelles l'appareil peut être soumis.

L'équation (6) se prête à d'autres déductions.

Quand  $\alpha > \alpha$ , c'est-à-dire lorsque le liquide ambiant est plus dilatable que celui emprisonné dans le flotteur, quand en même temps  $t$  est positif, c'est-à-dire la température  $T + t$  du moment plus élevée que la température normale  $T$ , alors on a aussi  $p' < p$ ; le flotteur s'enfonce trop et le compteur accuse trop d'alcool.

Quand  $\alpha$  étant toujours plus grand que  $\alpha$ ,  $t$  est négatif et la température  $T - t$  du moment inférieure à celle normale  $T$ , on a  $p' > p$ , ce qui donne lieu à des conséquences inverses.

Voici comment on peut apprécier l'influence de ces écarts.

Désignons par :

$K$  Le poids du flotteur plongé dans le liquide de densité  $d$  à la température normale  $T$ ;

$K'$  Le poids de ce flotteur plongé dans le même liquide porté à la température  $T + t$ , et prenant alors la densité  $d'$ ;

$k$  Le poids de ce flotteur plongé dans l'eau;

$E$  Le poids de l'eau déplacée.

Le poids perdu par le flotteur dans le liquide de densité  $d$ , celle de l'eau étant prise pour unité, sera :

$$(7) \quad p = E d,$$

et dans le liquide de densité  $d'$

$$p' = E d';$$

mais le poids réel du flotteur est  $k + E$ ; son poids dans le liquide de densité  $d'$  est donc :

$$K' = k + E - p',$$

ou remplaçant  $p'$  par sa valeur tirée de (6)

$$K' = k + E - p \frac{1 + at}{1 + \alpha t}.$$

Il convient de se débarrasser de  $a$  et de  $\alpha$ , parce que l'on n'a pas de bonnes tables de dilatation pour les spiritueux, tandis

que l'on en possède d'exactes, qui donnent les densités correspondant à leurs divers dosages.

On arrive à cette substitution au moyen des équations (7), (2) et (5), et on obtient :

$$(8) \quad K' = k + E \left( 1 - d' \frac{D}{D'} \right).$$

Tel est le poids du flotteur, rempli d'un esprit de densité  $D$ , quand il est plongé, à la température  $T + t$ , dans un autre, ayant, dans ce cas, la densité  $d'$ . L'appareil donne donc des indications fautives ; car on devrait avoir :

$$(9) \quad K' = k + E (1 - d')$$

L'index accuse donc la teneur en alcool, correspondant à une densité  $d' \frac{D}{D'}$ , au lieu de celle correspondant à la densité  $d'$ , qui est la véritable. L'erreur commise s'apprécie facilement au moyen des tables dont on vient de parler.

L'appareil dont s'occupe ici M. Jörgensen est celui qui avait été construit pour l'usage spécial du Danemark. On y a pris pour unité la densité de l'eau à  $15^{\circ},53$ , et alors celle du spiritueux enfermé dans le flotteur, et titré à 0,74 d'alcool, est :

$$D = 0,8875.$$

On trouve dans les tables la densité  $D'$  de ce spiritueux à la température  $T + t$ ; on prend directement à l'alcoomètre la densité  $d'$  du liquide éprouvé à cette même température, et on peut alors calculer la valeur  $\Delta$  de l'expression  $d' \frac{D}{D'}$ . Ces tables donnent les dosages correspondant aux densités  $\Delta$  et  $d'$ ; l'écart entre les deux chiffres trouvés est l'erreur du compteur, qui peut être positive ou négative, suivant le signe de  $\Delta - d'$ .

C'est ainsi que M. Jörgensen a établi le tableau suivant, indiquant les écarts de l'appareil, pour des liquides dont la teneur en alcool varie de 5 en 5 centièmes, et pour les deux températures  $5^{\circ}$  et  $25^{\circ}$ , qui, dit-il, sont très rarement dépassées. Ce tableau est spécial au compteur danois.

TABLEAU I.

DOSAGE résultant du calcul de $\Delta$ à 5°.	DIFFÉRENCE.	DOSAGE réel à 15°,55.	DIFFÉRENCE.	DOSAGE résultant du calcul de $\Delta$ à 25°.
0,957	- 0,003	0,960	+ 0,004	0,964
0,907	- 0,003	0,910	+ 0,003	0,913
0,858	- 0,002	0,860	+ 0,002	0,862
0,808	- 0,002	0,810	+ 0,002	0,813
0,759	- 0,001	0,760	+ 0,001	0,761
0,710	- 0,001	0,710	0,000	0,710
0,661	0,000	0,660	- 0,002	0,658
0,612	+ 0,002	0,610	- 0,002	0,608
0,563	+ 0,005	0,560	- 0,003	0,557
0,517	+ 0,007	0,510	- 0,005	0,505
0,469	+ 0,009	0,460	- 0,008	0,452
0,427	+ 0,017	0,410	- 0,012	0,398
0,383	+ 0,023	0,360	- 0,019	0,341

De l'examen de ce tableau, il résulte que la teneur en alcool indiquée par l'appareil est, dans des limites assez étendues, très sensiblement indépendante de la température. Mais il n'en est pas ainsi des volumes accusés par le tympan. Les spiritueux se dilatent ou se contractent, suivant que le thermomètre monte ou descend. La minuterie du tambour constate à  $T$  et  $T + t$  des volumes différents, et celle de l'alcool, des dosages presque identiques. De là une nouvelle cause d'erreur utile à étudier, bien qu'on n'en tienne pas compte dans la pratique.

Soit un spiritueux de densité  $d$  à la température  $T$ , qui, dans ces conditions, contienne en alcool une fraction  $m$  de son volume. Un volume  $V$  de ce liquide renfermera  $mV$  d'alcool.

Le thermomètre passant à  $T + t$ , la densité du spiritueux devient  $d'$ , et son volume  $V'$ ; ces volumes étant en raison inverse des densités, on a :

$$V' = V \frac{d}{d'}.$$

L'appareil accusera donc une quantité d'alcool

$$mV' = mV \frac{d}{d'},$$

tandis que le liquide n'en contient réellement que  $m' V$ , soit un dosage de

$$(10) \quad m \frac{d}{d'} \text{ au lieu de } m.$$

Cette conclusion n'est vraie que si trois conditions sont satisfaites.

1° Si la température est la même dans le tambour et dans le récipient, ce qui d'après la figure doit toujours se présenter;

2° Si les dilatations et contractions des parois métalliques du tympan sont assez faibles pour qu'on puisse négliger leur influence sur sa capacité intérieure. C'est ici le cas, car ces parois sont en cuivre rouge qui, en passant de 0° à 100°, ne se dilate que de 0,005, proportion tout à fait négligeable;

3° Si le flotteur, pour les différents liquides où il est plongé, et les diverses températures qu'ils peuvent avoir, donne leurs densités exactes, autrement dit leur teneur vraie en alcool.

Il n'en est pas ainsi, et on a vu précédemment, équation (8), que la deuxième minuterie donne un chiffre  $d' \frac{D}{D'}$ , quand il devrait être de  $d'$ , soit un dosage  $m'$  au lieu de  $m$ . La troisième condition n'est donc pas remplie.

En tenant compte de la dilatation du liquide jaugé par le tympan, circonstance examinée immédiatement ci-dessus, ce ne sera même plus  $m'$  qui sera indiqué par l'index et sa minuterie, mais, expression (10), un chiffre différent :

$$(11) \quad m' \frac{d}{d'} = M.$$

Ceci démontre que l'appareil, même pour un liquide de dosage égal à celui du flotteur, ne pourra jamais donner d'indications exactes à une température  $T + t$  différente de la température normale  $T$ . Dans ce cas on a :

$$D = d, \quad D' = d',$$

et  $m'$  devient égal à  $m$ .  $M$  est alors

$$M = \frac{d}{d'} m.$$

Les indications ne deviennent exactes que quand

$$t = 0,$$

c'est-à-dire quand l'appareil marche à la température normale.  
Car on a alors

$$D = D' = d = d' \text{ et } M = m.$$

Dans ce cas seulement le dosage accusé est le titre réel du spiritueux soumis à l'action du compteur.

Reportons-nous au tableau I, établi pour un flotteur rempli d'un liquide d'une densité de 0,8873; on y voit que :

Pour  $t$  négatif, un liquide, plus riche que celui du flotteur, donne . . . . .  $m' < m$ .

Pour  $t$  négatif, un liquide, plus pauvre que celui du flotteur, donne . . . . .  $m' > m$ .

Pour  $t$  positif, un liquide, plus riche que celui du flotteur, donne . . . . .  $m' > m$ .

Pour  $t$  positif, un liquide, plus pauvre que celui du flotteur, donne . . . . .  $m' < m$ .

Quand  $t$  est négatif, on a dans l'expression (10). . . . .  $\frac{d}{d'} < 4$ .

Quand  $t$  est positif, on a dans l'expression (10). . . . .  $\frac{d}{d'} > 4$ .

De sorte que la valeur de  $M$  donnée par l'équation (11) est :

Pour  $t$  négatif et un liquide plus riche que celui du flotteur. . . . .  $M < m$ .

Pour  $t$  négatif et un liquide plus pauvre que celui du flotteur. . . . .  $M > m$ .

Pour  $t$  positif et un liquide plus riche que celui du flotteur. . . . .  $M > m$ .

Pour  $t$  positif et un liquide plus pauvre que celui du flotteur. . . . .  $M < m$ .

Le double signe  $\gtrless$  indiquant que, des deux facteurs du produit  $M$ , l'un étant plus grand, l'autre plus petit que 4, ce produit peut être l'un ou l'autre, suivant la valeur numérique de ces facteurs.

Ceci montre que les erreurs provenant de fausses indications fournies par le flotteur et le tambour peuvent se compenser, mais qu'il en est ainsi seulement pour le cas où le liquide soumis à l'appareil est moins riche que celui enfermé dans le flotteur.

On voit encore que, si la machine fonctionne d'une façon continue et pendant un certain temps, les erreurs provenant du fait du flotteur et celles dues au tambour peuvent se compenser à la longue, ces températures devant, en pareil cas, être tantôt au-dessus tantôt au-dessous de celle T, pour laquelle seule les indications sont exactes.

Ceci ressort plus clairement de l'examen du tableau suivant, qui met en parallèle les dosages réels, et ceux que, d'après les formules précédentes, le compteur devra fournir pour les températures de 5° et 25°. Il place également sous les yeux les différences résultant de cette comparaison.

Le flotteur est ici supposé rempli d'un spiritueux titré à 0,71.

TABLEAU II.

DOSAGE à 5°.	DIFFÉRENCE.	DOSAGE réel à 15°,55.	DIFFÉRENCE.	DOSAGE à 25°.
0,947	- 0,013	0,960	+ 0,014	0,974
0,752	- 0,008	0,760	+ 0,008	0,768
0,560	0,000	0,560	+ 0,001	0,561
0,465	+ 0,005	0,460	- 0,005	0,455
0,381	+ 0,021	0,360	- 0,017	0,343

D'après ce tableau, pour les dosages moyens, le compteur donne des indications très sensiblement exactes, et ne commet aucune des erreurs que l'on reproche, avec raison, aux divers procédés de mesurage, de pesage ou d'appréciation actuellement employés pour les spiritueux.

Voyons quel degré de confiance on peut lui accorder pour des dosages s'écartant de la moyenne.

Supposons que le tambour ait débité, d'abord 500 litres à 0,86, puis 100 à 0,36, ces liquides étaient à 25°. Ils ont passé successivement dans la machine, mais sans s'y mêler. Ils contenaient :

$$300 \cdot 0,86 + 100 \cdot 0,36 = 466 \text{ litres}$$

d'alcool absolu, et leur dosage moyen est :

$$\frac{466}{600} = 0,7766.$$

L'alcool se dilate de 0,11 de son volume quand il passe de 0° à 100°, soit de 0,0011 par degré centigrade. Dans les mêmes conditions, l'eau se dilate de 0,0433, soit de 0,000433 par degré.

Ces liquides étant à 25°, leur température est de 9°,45 supérieure à la température normale 15°,53. Pour cette augmentation de température, le volume d'un litre du premier liquide devient :

$$0,86(1+0,0011 \cdot 9,45) + 0,14(1+0,000433 \cdot 9,45) = 1,009542539$$

et du second :

$$0,36(1+0,0011 \cdot 9,45) + 0,64(1+0,000433 \cdot 9,45) = 1,006360984.$$

Les 300 litres du premier deviendraient . . . . . 504<sup>1</sup>,7363

Les 100 litres du second . . . . . 100<sup>1</sup>,6364

Le volume écoulé a donc été réellement de . . . . . 605<sup>1</sup>,3924

La minuterie à alcool a accusé, tableau I, pour le premier, un titre de 0,862, et de 0,341 pour le second, ou une quantité totale d'alcool absolu égale à

$$504,7363 \cdot 0,862 + 100,6364 \cdot 0,341 = 469<sup>1</sup>,4168.$$

Ce qui fournit un titre de

$$\frac{469,4168}{605,3924} = 0,7754,$$

qui ne diffère de la réalité que de 0,0012 en moins.

Si le compteur était destiné aux petites distilleries, où l'on ne fabrique que des eaux-de-vie entre 0,60 et 0,00, il suffirait que le liquide du flotteur fût dosé à 0,30.

Supposons qu'un pareil compteur ait, dans un temps déterminé, opéré sur des liquides qui, jaugés et gradués à la température normale, aient fourni les chiffres suivants :

100 litres à .. . . . .	0,640
100 — — — — —	0,510
100 — — — — —	0,410
100 — — — — —	0,310
100 — — — — —	0,210
100 — — — — —	0,110
100 — — — — —	0,006

D'après les formules présentées ci-dessus, l'appareil accuserait, à 25° :

100,8	litres à . . . . .	0,623
100,7	— . . . . .	0,521
100,7	— . . . . .	0,420
100,5	— . . . . .	0,344
100,3	— . . . . .	0,204
100,2	— . . . . .	0,082
100,2	— . . . . .	0,004

ou, en totalisant, 703,4 litres à 0,315, au lieu de 700 à 0,317, chiffres dont la différence est de très peu d'importance.

Le compteur de MM. Siemens et Halske peut être employé non seulement dans les distilleries qui fabriquent des esprits rectifiés, mais encore dans les petites brûleries qui produisent des flegmes et eaux-de-vie en traitant des marcs, des grains, etc., à feu nu. Dans ces conditions, des parcelles de matières premières sont parfois entraînées dans le réfrigérant, et pourraient, si elles arrivaient au compteur, entraver son bon fonctionnement. Pour empêcher de pareils faits, le tuyau T (fig. 2), embranché sur le réfrigérant, tuyau qui porte le tube d'air L, conduit les produits dans un premier récipient B, où est suspendu un filtre cylindrique F en toile de soie. Le liquide est obligé de le traverser ayant d'arriver dans la cuvette K, d'où il se déverse dans le tube R, qui l'introduit dans le compteur.

Un alcoomètre de Gay-Lussac est plongé dans la cuvette K ; il est protégé par une cloche de cristal lutée. Cet instrument sert à vérifier en marche le titre des esprits fabriqués.

L'appareil doit être réglé dans sa mise en service. Cette opération se fait par des moyens qui servent également à vérifier son état de rectitude, après un certain temps de fonctionnement.

La boîte qui contient tout le mécanisme est munie de deux poids-étalons, qui sont exactement, l'un le poids du flotteur quand il est placé dans l'alcool absolu titré 1,00, l'autre le poids de ce flotteur placé dans l'eau titrée 0,00. On peut les déterminer directement, ou au moyen de la formule (9), quand on connaît préalablement le poids du flotteur dans l'air et celui qu'il perd dans l'eau.

L'appareil est placé dans l'usine à son poste définitif, mais sans

flotteur. On peut observer (fig. 3) au-dessous de l'extrémité du levier ST, un anneau en traits pointillés qui termine la tige du flotteur et s'agrafe sur un crochet. C'est ce crochet qui doit être libre pendant l'opération du réglage.

On y suspend d'abord l'étalon relatif à l'alcool pur; le bras T du levier s'abaisse, le style *x* s'élève. On fait tourner le tambour pour amener la courbe X au contact de l'index; ce contact ne doit cependant pas être assez énergique pour empêcher la pointe de glisser sur la courbe. On manœuvre ensuite les vis  $\ell^1$ ,  $\ell^2$ , qui, soulevant ou abaissant le point d'attache de la lame, amènent l'index à toucher exactement la division 100. L'une de ces vis commande ces petits mouvements; l'autre fixe invariablement le ressort quand il est parvenu au point voulu. On remplace ensuite le premier étalon par le second, relatif au dosage 0,00. Le trèfle M qui, pendant la précédente opération, était disposé pour laisser le galet pénétrer dans une des gorges, reçoit un mouvement angulaire tel que le galet soit amené au sommet de l'une des feuilles. Alors l'index s'abaisse et arrive au bas de la courbe X, près du point 0,00.

Admettons qu'il se trouve un peu en dessous. Il faudra de nouveau manœuvrer les vis  $\ell^1$ ,  $\ell^2$  pour que le style se trouve exactement au contact du 0,00.

On replacera ensuite l'étalon 1,00, avec des précautions pareilles pour le trèfle. L'index remontera trop, ce qui montre que le ressort est trop long. Au moyen des écrous *u*, *u'*, placés à son extrémité, on raccourcira légèrement sa portée; la position du point de suspension sera, par le fait, un peu modifiée. Cela fait, on agit de nouveau sur les vis  $\ell^1$ ,  $\ell^2$  pour amener le style vis-à-vis de la division 100. Si le second étalon replacé amène le style vis-à-vis du 0,00, tout est bien. S'il se tenait un peu en dessous, il faudrait, avec les écrous *u*, *u'*, allonger un peu la lame, mais moins qu'elle n'a été raccourcie en premier lieu.

En opérant ainsi par tâtonnements successifs, on arrivera assez promptement à régler la lame et les points de suspension. Ceci fait, le flotteur sera mis en place et le compteur sera prêt à fonctionner.

Cet appareil demande, on le voit, une grande précision de construction; qualité qui, du reste, se retrouve dans tous ceux que

M. Jörgensen et d'autres expérimentateurs ont observé, longuement et minutieusement.

Le compteur, livré au Danemark et tracé pour ses besoins spéciaux, accuse les volumes débités et l'alcool qu'il renferme avec une approximation qui a varié entre  $1/2$  et  $1/20$  pour 1000, soit 0,0003 et 0,00005.

L'exactitude du tracé de la courbe se vérifie, soit en plaçant au point de suspension du flotteur des poids égaux à ceux conservés par le flotteur dans des liquides titrés de 5 en 5 pour 100, soit en plaçant dans le récipient des liquides ainsi titrés, le flotteur y occupant sa place régulière. En opérant de ces deux façons, M. Jörgensen n'a jamais constaté des écarts dépassant  $1/20$  pour 100. Pour ces observations, ce savant avait lui-même effectué, dans son laboratoire, les dosages nécessaires, ayant constaté que 4 alcoomètres, fournis par les constructeurs les plus renommés, variaient entre eux et présentaient des chiffres différent de la réalité de 0,20 à 0,35 pour 100 : erreurs quadruples de celles dont le compteur est susceptible.

On doit en conclure que ce compteur ne saurait être vérifié par les procédés réglementaires en usage, puisqu'ils sont plus sujets à erreurs que la machine elle-même.

Des expériences, au point de vue pratique, ont eu lieu sur cet appareil en Autriche et en Saxe. Elles lui ont été aussi favorables que celles opérées en Danemark. Celles de Saxe sont particulièrement intéressantes au point de vue industriel et financier. Placé dans une distillerie qui, par jour, produit en moyenne 1100 quarters<sup>1</sup> d'alcool pur, un compteur y a été observé pendant cinq mois, et ses indications comparées à celles obtenues par les procédés réglementaires de contrôle. Les premières ont été supérieures aux dernières :

En novembre 1869, de . . . . .	0,00032
En décembre 1869. . . . .	0,00038
En janvier 1870. . . . .	0,00034
En février 1870. . . . .	0,00029
En mars 1870. . . . .	0,00024

ou en moyenne de  $1/4$  sur 3000. L'appareil de MM. Siemens et

1. Le quarter équivaut à 1<sup>lit.</sup>,145.

Halske est donc plus juste, ou tout au moins plus avantageux au fisc que les anciens procédés en usage.

Un autre compteur plus ancien, et d'une construction alors moins perfectionnée, a donné des résultats analogues, et sur lesquels il semble dès lors inutile de s'appesantir.

L'Allemagne emploie deux modèles de compteur : l'un pour les esprits, l'autre pour les eaux-de-vie. La dilatation du liquide enfermé dans les flotteurs a été prise directement. Son coefficient est, pour le premier :

$$\alpha = 0,001033;$$

pour le second :

$$\alpha = 0,000823.$$

D'après cela, on a pour le premier, l'équation (2) :

$$\frac{D}{D'} = 1 + 0,001033 t,$$

et pour le second :

$$\frac{D}{D'} = 1 + 0,000823 t.$$

D'après les considérations développées pour arriver aux équations 8 et 9, la minuterie à alcool accuse, au lieu d'un dosage correspondant à  $d$ , celui qui répond à

$$d' (1 + 0,00103 t)$$

pour le premier, et pour le second à

$$d' (1 + 0,000823 t).$$

C'est en se servant de ces expressions qu'on a établi le tableau suivant, correspondant à celui numéroté I.

## COMPTEUR

<i>Pour les esprits.</i>			<i>Pour les eaux-de-vie.</i>		
DOSAGE réel à 15°,55.	DIFFÉRENCE.	DOSAGE accusé à 25°.	DOSAGE réel à 15°,55.	DIFFÉRENCE.	DOSAGE accusé à 25°.
0,900	0,000	0,900	"	"	"
0,850	0,000	0,850	"	"	"
0,800	- 0,001	0,799	"	"	"
0,750	- 0,002	0,748	"	"	"
0,700	- 0,003	0,697	"	"	"
0,650	- 0,004	0,646	"	"	"
0,600	- 0,005	0,595	0,600	+ 0,002	0,602
0,550	- 0,006	0,542	0,550	+ 0,001	0,551
0,500	- 0,010	0,490	0,500	0,000	0,500
0,450	- 0,014	0,436	0,450	- 0,003	0,447
0,400	- 0,014	0,382	0,400	- 0,006	0,394

On voit que, pour les deux compteurs allemands, les erreurs commises par la minuterie à alcool sont d'une très faible importance, particulièrement pour les titres élevés, qui sont les plus habituels dans les grandes distilleries.

Pour déterminer celles qui proviennent de cette cause combinée avec les dilatations de volume constatées par le tambour, reportons-nous aux considérations développées pour obtenir l'équation

$$(11) \quad M = m' \frac{d}{d'},$$

et opérons, comme il a été fait, pour établir le tableau II. Nous arriverons ainsi au suivant :

## COMPTEUR

<i>Pour les esprits.</i>			<i>Pour les eaux-de-vie.</i>		
DOSAGE réel à 15°,55.	DIFFÉRENCE.	DOSAGE accusé à 25°.	DOSAGE réel à 15°,55.	DIFFÉRENCE	DOSAGE accusé à 25°.
0,900	+ 0,009	0,909	"	"	"
0,850	+ 0,008	0,858	"	"	"
0,800	+ 0,006	0,806	"	"	"
0,750	+ 0,005	0,755	"	"	"
0,700	+ 0,004	0,704	"	"	"
0,650	+ 0,001	0,651	"	"	"
0,600	+ 0,001	0,599	0,600	+ 0,006	0,606
0,550	- 0,003	0,517	0,550	+ 0,006	0,556
0,500	- 0,006	0,494	0,500	+ 0,004	0,504
0,450	- 0,011	0,439	0,450	0,000	0,450
0,400	- 0,016	0,384	0,400	- 0,004	0,396

En comparant ces chiffres à ceux du tableau II, on constate que les compteurs allemands fonctionnent avec la même approximation que celui étudié, pour le Danemark, par le savant professeur de l'Université de Copenhague. En terminant notre tâche, qui était de rendre compte de son mémoire, nous ne pouvons nous dispenser de reconnaître la haute intelligence et le soin extrême avec lesquels il a accompli sa mission.

SUR LES EXPÉRIENCES  
DE  
RÉSISTANCE DES MATERIAUX  
EN FRANCE ET A L'ÉTRANGER.

PAR M. H. TRESCA.

I

Nous avons eu l'occasion de présenter plusieurs fois dans ce recueil quelques-uns des résultats des expériences nombreuses que nous avons faites sur la résistance des matériaux. Dans notre premier article nous avons même décrit les dispositions prises pour l'installation de la salle des expériences, et si le lecteur veut bien s'y reporter, il trouvera, sauf quelques additions qui ont pu de temps en temps y être apportées, tous les éléments des déterminations usuelles sur les divers coefficients de résistance qui intéressent de plus en plus l'art de l'ingénieur, dont les travaux, à mesure qu'ils prennent des dimensions plus considérables, doivent satisfaire plus strictement aux conditions déduites de lois bien déterminées par l'observation.

En ce qui concerne les matériaux naturels, on se tient encore à une grande distance des limites, et tout s'est borné pour nous à compléter les séries de nos déterminations. Cependant quelques expériences sur la flexion des pierres nous permettront d'établir prochainement des règles permettant de fixer les conditions dans lesquelles on pourrait au besoin fermer les baies par des plates-bandes non appareillées. Les études analogues sur les bois n'ont donné non plus aucune donnée plus précise sur leur emploi, bien que les règles de la construction des poteaux, telles

qu'elles ressortent des expériences d'Hodgkinson, laissent encore bien à désirer.

Il n'en est pas de même pour les métaux qui entrent chaque jour pour une plus grande part dans la pratique. L'augmentation incalculable de la production, surtout en ce qui concerne le fer et l'acier, a stimulé l'activité des maîtres de forge. On a, dans bien des cas, produit mieux et à meilleur marché, mais en même temps l'introduction de nouveaux procédés, la diversité même qui en résulte dans les qualités des produits, ont fait reconnaître que les matériaux les plus résistants n'étaient pas toujours les meilleurs, et que, par exemple, certains fers, plus mous en apparence, pourront souvent donner une sécurité mieux définie, parce que leurs propriétés mécaniques sont alors moins sujettes à variation.

Au fur et à mesure des progrès, les gouvernements, les chemins de fer, les constructeurs se sont montrés plus difficiles, et sous l'empire de leurs exigences, qui se traduisaient parfois par les conditions très rigoureuses des cahiers de charges, les producteurs ont dû se mettre en mesure d'essayer par eux-mêmes leurs produits.

Grâce aux nombreuses expériences de M. Kirkaldy, les grandes usines d'Angleterre, particulièrement celles qui possédaient les meilleures marques d'acier, ont pu s'engager à livrer des produits répondant à des conditions déterminées de résistance.

En Allemagne et en Russie la fabrication des bouches à feu a donné lieu à des expériences tout aussi nombreuses, et l'on peut voir par un des articles qui précédent, et dans lequel chacun reconnaîtra l'appréciation si sûre de M. le général Morin, qu'en Italie les préoccupations ont été les mêmes.

A l'Exposition de Vienne, les représentants de la plupart des écoles polytechniques commandaient des appareils appropriés aux expériences, ou déjà les avaient à leur disposition.

En France, les principaux chemins de fer d'abord, d'importantes usines ensuite, se sont procuré des appareils de traction et de torsion. Au Creuzot tous les fers sont essayés, et les divers modes d'investigation auxquels ils sont méthodiquement soumis ont permis d'arrêter les bases d'une nomenclature précise, dans laquelle les fers et les aciers sont rigoureusement classés d'après leurs propriétés mécaniques. D'autres usines importantes, les forges de Châtillon, celles de Saint-Étienne ont opéré à peu près

de même, sans prétendre à un classement aussi absolu, et sans chercher à lui assurer une égale publicité.

Partout ce sont les essais à la traction qui ont trop souvent le privilège de servir de guide exclusif et les résultats, sous ce rapport, forment déjà un ensemble de documents tout à fait instructifs.

Au moment où se produisent dans les diverses contrées de l'Europe, et par la force même des choses, un mouvement aussi marqué vers la constatation plus ou moins officielle des propriétés effectives des métaux employés dans l'industrie, voici que le Gouvernement de États-Unis vient encore d'affirmer ce mouvement par la création d'une institution publique dont l'ampleur surpassé de bien loin tout ce qui a été fait auparavant.

Nous avons pensé qu'il ne serait pas inopportun de faire connaître l'étendue du programme de cette institution qui, avant de se mettre à l'œuvre, s'adresse à tous ceux qui savent, pour obtenir communication de leurs travaux et pour en faire la base et le point de départ de ses propres recherches.

A part les lois mathématiques des phénomènes qui précèdent la rupture, et les règles déjà très sûres qui s'imposent à l'ingénieur, la plupart des résultats sont, pour ainsi dire, isolés ; le programme américain ne réussirait-il qu'à les grouper, ce serait déjà un grand service rendu. Mais ce qui certainement mérite la plus sérieuse attention, c'est que ses investigations propres seront conduites d'une manière méthodique, afin de mettre en lumière les relations encore inconnues qui doivent exister entre la composition, le procédé de fabrication et les propriétés mécaniques elles-mêmes.

Poursuivre l'étude des modifications que subissent ces propriétés sous l'influence des circonstances atmosphériques, du froid, de la chaleur, de l'usé, des trépidations, c'est là une œuvre bien difficile sans doute, mais qui n'est pas hors de proportion avec les ressources d'un grand pays qui en aurait compris la nécessité.

A un autre point de vue l'étude des alliages doit amener certainement des résultats tout à fait inattendus, et la détermination précise des propriétés mécaniques résultant de l'introduction de petites quantités de carbone, de manganèse, de phosphore, de titane, de chrome et de tungstène dans le fer, permettra certainement de tirer un meilleur parti de certains minerais délaissés. Ces essais ne doivent pas se borner à la production du fer.

On a affirmé, sans que nous ayons pu le constater jusqu'ici par nous-même, que l'introduction d'une petite quantité de phosphore dans le bronze le rendait plus malléable et plus résistant; tout au moins le phosphore agit-il comme matière réductrice en empêchant l'oxydation de l'étain, et en évitant, dans une grande mesure, ce genre de défaut que l'on désigne sous le nom de taches d'étain, et qui est évidemment dû à l'inégale répartition du métal.

Dernièrement nous avons reconnu d'une manière non douteuse l'influence très favorable de la présence de un ou deux centièmes de fer dans une fonte de cuivre. Il paraît résulte de ce fait, bien constant, qu'une très petite quantité de matière étrangère, en s'opposant à la cristallisation d'un métal, aurait pour effet d'augmenter notablement son homogénéité physique en même temps que sa cohésion. Les métaux les plus purs ne seraient pas, dès lors, les meilleurs pour les applications industrielles, et l'étude simultanée des propriétés chimiques et mécaniques d'une même matière doit présenter un grand intérêt.

Les métaux blancs employés déjà en proportion considérable dans certaines industries, fourniront des chiffres inattendus. Une barre de maillechort que nous avons eu l'occasion de soumettre tout dernièrement à certains essais, nous a donné des résultats presque comparables à ceux que le fer aurait indiqués dans les mêmes conditions.

Il y a un point, selon nous très important, qui ne se trouve pas visé dans le programme cependant si complet de l'Institution américaine, c'est celui de l'influence des assemblages et des liaisons entre différents fils enchevêtrés. Il résulte d'expériences que nous avons dernièrement terminées que dans tous les tissus, et même dans les fils cordés, les allongements, au lieu de croître plus rapidement que les efforts exercés, suivent au contraire une loi inverse, beaucoup au delà même de leur limite d'élasticité, par suite des actions mutuelles des différents éléments enchevêtrés. Le même fait s'observe dans les feutres et dans les cuirs, et en essayant des courroies en caoutchouc doublées de tissu, à l'extérieur ou à l'intérieur, nous avons constaté le même effet. Nous pensons que si l'on examinait attentivement la portée de cette remarque sur le meilleur mode de composition des paquets employés à la confection du fer, on pourrait dans une certaine mesure en améliorer encore les propriétés mécaniques à l'égal de

ce qui est déjà constaté pour les cordes métalliques et les câbles plats.

Dans la plupart des constructions qui doivent offrir le caractère d'une grande sécurité, particulièrement dans le matériel de la marine, on recherche les fers qui, offrant une résistance suffisante, jouissent cependant de la propriété de s'allonger beaucoup avant de rompre ; on fixe même la proportion de l'allongement de rupture par rapport à la longueur primitive des barreaux d'essai. Il est évident que si tous les barreaux ont les mêmes dimensions, le meilleur sous ce rapport sera celui qui s'allongera le plus, mais il pourrait en être tout autrement si cette identité dans la longueur n'existe pas. L'allongement de rupture résulte en effet de deux phénomènes bien distincts : de l'allongement élastique ou proportionnel qui s'élèverait au double pour une longeur double, et d'un allongement local, déterminé dans le voisinage de la section de rupture, et qui semble devoir être le même, quelle que soit la longueur primitive de la pièce. Il importe de mieux distinguer ces deux parties de l'effet produit, ou tout au moins de se rapprocher en Amérique des dimensions des barreaux d'épreuve adoptés dans d'autres pays.

A ce propos, qu'il nous soit permis de faire remarquer l'intérêt qu'il y aurait à ce que toutes les données et tous les résultats des expériences projetées, fussent exprimées en mesures métriques. Les calculs de réduction, sans être très compliqués, sont toujours assez laborieux pour qu'un ingénieur ne prenne pas souvent le temps de les faire exactement, et dans la traduction des expériences sur la résistance à la flexion, les résultats exprimés dans une mesure spéciale sont presque une lettre morte pour les pays dans lesquels cette mesure n'a pas cours. Maintenant que le système métrique des poids et mesures est presque partout obligatoire, qu'il est déjà facultatif aux États-Unis comme en Angleterre, qu'il est partout employé d'une manière presqu'exclusive dans tous les travaux scientifiques, nous pensons qu'il serait tout à fait nécessaire qu'il fût adopté dans les travaux de la nouvelle Commission.

La réglementation des appareils à vapeur, telle qu'elle est définie par le décret du 4<sup>er</sup> février 1863, en même temps qu'elle assure aux constructeurs une grande liberté, ne laisse pas que de leur imposer des responsabilités graves qui ne pourront bientôt

être sauvegardées que par des justifications sérieuses des précautions qu'ils auront prises dans le choix du métal. Les Compagnies de chemins de fer, de même que les ateliers de la marine essayent toutes leurs tôles. Les constructeurs de l'industrie, obligés de s'écartier des dimensions qui faisaient loi dans la période antérieure, ne sauraient, en cas d'accident, malheureusement toujours à craindre, s'armer suffisamment contre ces responsabilités, que s'ils peuvent prouver, qu'en se décidant à diminuer les épaisseurs, ils ont tenu à s'assurer que la nature du métal employé le comportait. Il y a tant de causes de détérioration auxquelles sont exposés ces sortes d'appareils, que c'est bien le moins qu'on puisse faire, d'exiger que les matériaux employés dans ces conditions toujours dangereuses, aient été tout d'abord bien choisis, et que leurs propriétés de résistance aient été à l'origine sévèrement et judicieusement constatées.

Nous donnons ici les principales conditions imposées en France, pour les fournitures faites au département de la marine : elles donneront une idée suffisante des propriétés qu'il convient de rechercher dans les matériaux que l'on peut employer avec sécurité dans les différentes applications.

DÉSIGNATION.	Limité inférieure de la charge moyenne de rupture sur des barres de 0m,39 (1).	Limité inférieure de l'allongement proportionnel moyen de longueur (1).	Limité inférieure de la charge de rupture qui puisse être acceptée dans l'un des essais.	Limité inférieure de la charge de rupture qui puisse être acceptée dans l'allongement proportionnel correspondant.	Charge initiale à appliquer pendant 5 minutes et ne devant pas produire la rupture.	Allongement minimum correspondant.
Tôles communes . . . . .	28	0,035	25	0,025	25	25
Tôles ordinaires . . . . .	34	0,050	28	0,040	28	28
Tôles supérieures . . . . .	32	0,070	30	0,050	29	29
Tôles fines . . . . .	35	0,100	30	0,075	29	29
Tôles minces d'acier . . . . .	45	0,150				
Tôles moyennes d'acier . . . . .	50	0,150				
Tôles fortes d'acier . . . . .	55	0,150				
Cornières ordinaires . . . . .	34	0,090				0,006
Cornières supérieures . . . . .	35	0,120				0,000
Fers à T communs . . . . .	32	0,060				0,035
Fers à T ordinaires . . . . .	34	0,090				0,006

(1) Pour les tôles les chiffres qui sont comptés dans la moyenne doivent être exclusivement déduits des expériences faites dans le sens le moins résistant.

En ce qui concerne les aciers cependant, il convient d'avoir égard, en outre, à une propriété tout à fait essentielle, sans laquelle il pourrait arriver qu'ils se brisent au lieu de se déformer par une action brusque. La faculté qu'ils possèdent en général de se durcir par la trempe les rend, sous ce rapport, très dangereux, soit dans la construction des chaudières à vapeur, soit dans celles des grands ouvrages d'art. Les aciers Bessemer et autres, qui sont obtenus par fusion, doivent être plutôt considérés comme d'excellents fers, d'une homogénéité souvent parfaite, mais il suffit d'un accident de fabrication pour que l'on y rencontre quelquefois, quant à la trempe et bien qu'à un moindre degré, les propriétés de l'acier.

Nous compléterons les renseignements que nous venons de donner sur les meilleures propriétés de résistance des matériaux usuels, par l'indication des conditions de réception édictées à cet égard par une instruction récente du ministère de la Marine, en date du 10 mai 1876. Les constructeurs de chaudières à vapeur y trouveront un guide extrêmement précieux pour sauvegarder leur propre responsabilité.

« Pour s'assurer de la qualité des tôles d'acier, il sera fait trois sortes d'épreuves : des épreuves à froid, des épreuves à chaud, et des essais de trempe. »

*1<sup>e</sup> Épreuves à froid.* — Ces épreuves auront pour but de déterminer la résistance à la rupture et la faculté d'allongement du métal, tant dans le sens du laminage que dans le sens perpendiculaire.

On établira séparément les résultats moyens de résistance par millimètre carré et d'allongement proportionnel, obtenus dans chacun de ces deux sens au moyen de cinq épreuves au moins pour chacun d'eux.

Pour ces épreuves, on découpe des barrettes de tôle dans un certain nombre de feuilles prises au hasard dans chaque livraison, en ayant soin d'expérimenter, pour chaque feuille, un nombre égal de barrettes dans le sens du laminage et dans le sens perpendiculaire. Ces barrettes seront façonnées de manière à avoir pour section un rectangle dont l'un des côtés aura 30 millimètres de largeur, et l'autre l'épaisseur de la tôle. Toutefois, pour les tôles minces au-dessous de 5 millimètres d'épaisseur,

La largeur de la barrette d'épreuve sera réduite à 20 millimètres, et pour les tôles de 18 millimètres d'épaisseur et au-dessus, cette même dimension pourra être réduite à l'épaisseur de la tôle.

La longueur de la partie prismatique soumise à la traction, sera toujours exactement de 200 millimètres.

Dans aucun cas, les barrettes d'essai ne devront être recuites.

Les barrettes seront soumises, au moyen de poids agissant directement ou par l'intermédiaire de leviers tarés avec soin, à des efforts de traction croissants, jusqu'à ce que la rupture ait lieu. Ces efforts ne seront jamais calculés d'après les indications du manomètre, si la machine employée pour les produire comprend une presse hydraulique.

La charge initiale sera déterminée de manière à produire un effort de traction égal aux huit dixièmes de l'effort de rupture calculé d'après les données du tableau suivant :

Cette première charge sera maintenue en action pendant 5 minutes. Les charges additionnelles seront ensuite placées à des intervalles de temps sensiblement égaux et d'environ une demi-minute; elles seront calculées, autant que possible, à raison de un demi-kilogramme de traction par millimètre carré de la section de la barrette à rompre. On notera, pour chaque charge, l'allongement correspondant, mesuré sur la longueur prismatique primitive de 200 millimètres. L'allongement final sera celui produit sous tension au moment de la rupture.

Aucune barrette d'épreuve reconnue saine ne devra se rompre sous la charge initiale, ni donner un allongement final inférieur aux huit dixièmes de l'allongement moyen du tableau. Les bandes étroites qui ne se préteraient pas à la confection de barrettes d'épreuve en travers, ne seront essayées que dans le sens de leur longueur, c'est-à-dire dans le sens du laminage.

Les charges moyennes minima par millimètre carré de la section primitive, sous laquelle devront se rompre les barrettes expérimentées et les allongements moyens minima correspondants, sont donnés par le tableau ci-annexé. Pour les tôles, les résultats moyens qui devront être comparés aux chiffres de ce tableau, seront ceux qui auront été obtenus dans le sens de la moindre résistance.

*Conditions relatives à la réception des tôles d'acier.*

ÉPAISSEURS en millimètres.	POUR CONSTRUCTION.		POUR CHAUDIÈRES.	
	Charge MOYENNE minima.	Allongement MOYEN minima.	Charge MOYENNE minima.	Allongement MOYEN minima.
1.5.....	47 <sup>c</sup>	10 %	»	»
2 à 3 exclusivement.	47	12	»	»
3 à 4 id.....	47	14	»	»
4 à 5 id.....	46	16	»	»
5 à 6 id.....	46	18	»	»
6 à 8 id.....	45	20	42	25
8 à 20 id.....	45	20	42	25
20 à 30 inclusivement.	44	20	40	25

<i>Bandes et couvrejoints.</i>			
	EN LONG.		EN TRAVERS.
	48	18	44
	48	22	44
	48	22	42
			17

Sans qu'il soit peut-être indispensable de satisfaire rigoureusement à ces conditions minutieuses, les constructeurs de chaudières feront bien, lorsqu'ils emploieront des tôles d'acier, de vérifier qu'elles résistent au moins à 40 kilogrammes par millimètre carré, qu'elles supportent un allongement de 20 pour 100, et surtout qu'elles peuvent être travaillées à chaud et refroidies rapidement dans l'air sans se tremper.

**2<sup>e</sup> Essais à chaud.** — L'épreuve consistera à exécuter, avec un morceau de tôle de dimensions convenables, une calotte hémisphérique avec bord plat, conservé dans le plan primitif de la tôle. Le diamètre de la demi-sphère, mesuré intérieurement, sera égal à 40 fois l'épaisseur de la tôle, et le bord plat circulaire aura pour largeur le décuple de cette même dimension ; ce bord plat sera raccordé à la partie sphérique par un congé dont le rayon, mesuré dans l'intérieur de l'angle, sera, au maximum, égal à l'épaisseur de la tôle.

En outre, pour les tôles de plus de 5 millimètres d'épaisseur, il sera confectionné une cuve à base carrée, à bords relevés d'équerre ; la base de cette cuve aura pour côté 30 fois l'épaisseur de la tôle et les bords, mesurés en dedans, auront pour hauteur 40 fois cette même épaisseur. Au fond de cette cuve sera pratiqué un trou circulaire avec bords relevés perpendiculairement au plan du fond et du côté opposé à celui des bords de la cuve. Le diamètre de ce trou, mesuré intérieurement après travail fini, sera de 20 fois l'épaisseur de la tôle, et la hauteur du bord relevé sera de 5 fois cette même épaisseur. Tous les angles seront arrondis ; leur congé intérieur aura pour rayon l'épaisseur de la tôle.

Les pièces ainsi exécutées avec toutes les précautions qu'exige le travail de l'acier, ne devront présenter ni gercures, ni fentes, même lorsqu'elles auront été refroidies dans un courant d'air vif.

3° *Essais de trempe.* — Pour ces essais, on découpera dans les feuilles de tôle des barreaux de 260 millimètres de longueur sur 5 millimètres de largeur, tant dans le sens du laminage que dans le sens du travers; toutefois, on ne prendra ces barreaux que dans le sens du laminage, lorsqu'il s'agira d'expérimenter des bandes ou descouvre-joints ayant moins de 260 millimètres de largeur. Ces barreaux, préparés pour ces essais de trempe, ne devront pas avoir leurs rives longitudinales arrondies; on tolérera seulement que l'acuité des angles soit enlevée à la lime douce.

Ces barreaux seront chauffés uniformément, de manière à être amenés au rouge-cerise un peu sombre, puis trempés dans de l'eau à 28 degrés. Ainsi préparés, ils devront pouvoir prendre, sous l'action de la presse, sans présenter de traces de rupture, une courbure permanente dont le rayon minimum, mesuré intérieurement, ne devra pas être supérieur à l'épaisseur du barreau expérimenté.

Ces mêmes barreaux, lorsqu'il s'agira de tôles de chaudières, devront pouvoir, sous l'action de la presse et sans présenter de traces de rupture, être pliés en deux, à plat, de manière que les deux moitiés soient complètement appliquées l'une sur l'autre.

Depuis vingt ans le Conservatoire des arts et métiers a cherché à répondre aux besoins de l'industrie en ce qui concerne la résistance des différentes natures de matériaux ; sans avoir la prétention de satisfaire à toutes les conditions imposées à la nouvelle institution américaine, il s'efforcera de la suivre de loin, et dans la mesure des ressources beaucoup plus modestes dont il dispose, il pourra sans doute continuer à rendre quelques services à la pratique et à la science de l'ingénieur. Nous pensons qu'il devra tout au moins se mettre en mesure de répondre aux indications que nous avons données en dernier lieu sur la résistance des matériaux destinés à entrer dans la construction des chaudières à vapeur, et qu'il nous sera donné de remplir à cet égard la même lacune, tout à fait comblée dès maintenant, en ce qui concerne la résistance des pierres. Dans cette question les procès-verbaux du Conservatoire sont exigés depuis longtemps par la Société centrale des architectes pour le classement des diverses carrières, sans qu'il se soit produit encore une seule réclamation. Nous avons l'intention d'arriver au même résultat en ce qui concerne les métaux et les bois. Nos moyens d'observation ont d'ailleurs été améliorés successivement, tant sous le rapport de la précision à laquelle ils nous permettront d'atteindre, qu'en ce qui concerne la puissance même des appareils.

Le banc de traction dont le Conservatoire a fait l'acquisition seulement à l'Exposition universelle de 1867, a été dès l'origine augmenté de manière à permettre l'observation des allongements successifs d'une barre de deux mètres de longueur, les efforts auxquels il peut résister pouvant d'ailleurs atteindre 25000 kilogrammes, ce qui comprend largement l'essai des tôles de toutes épaisseurs, sur un centimètre au moins de largeur. Plus récemment nous avons pu munir cet excellent appareil de deux lunettes micrométriques, disposées horizontalement et permettant l'estimation des allongements observés, à un centième de millimètre près, comme avec les cathéthomètres usuels. Nous sommes donc parfaitement en mesure de répondre sous ce rapport à tous les besoins des constructeurs.

En ce qui concerne les essais à la compression, nous sommes limités à environ 80 000 kilogrammes, mais cet effort est suffisant pour presque toutes les expériences d'écrasement que nous ayons eu à faire, bien que nous ayons adopté, d'une manière uniforme,

des échantillons taillés en cubes de 40 centimètres de côté, ou même pour les briques dont la section transversale est à peu près double. Cette limite constitue au contraire une véritable impossibilité pour la continuation de nos expériences sur l'écoulement des corps solides, dans lesquelles nous nous sommes engagé à opérer sur des cylindres de 20 centimètres de diamètre, ce qui correspond à une section de 3 décimètres carrés. Nous avons en conséquence dû nous procurer des moyens d'obtenir des pressions d'au moins 500 000 kilogrammes, ce qui dépasse de bien loin tout ce qui est nécessaire pour l'étude des matériaux de maçonnerie, et ce qui nous permettra d'étendre aussi le champ de nos expériences à la flexion, alors que nous possédons déjà des points d'appui assez fortement consolidés.

Sauf les déterminations relatives aux charges portantes des pierres, la plupart des travaux jusqu'ici poursuivis au Conservatoire sur la résistance des matériaux, ont eu pour objet principal la vérification des lois et des coefficients à introduire dans les formules pour le calcul des projets, et si nous possédons déjà un grand nombre de chiffres de résistance que l'on peut consulter utilement, ils se rapportent presque tous à des matériaux de choix, ou à des matériaux dont on voulait au contraire constater la mauvaise qualité, à un point de vue en quelque sorte connu d'avance. Bien peu d'entre eux permettraient d'établir une comparaison suffisamment complète entre les produits similaires de diverses provenances. Le fer, par exemple, a été étudié sous le rapport de sa résistance à la traction, à la flexion, à la torsion, à la compression, nous l'avons même soumis à un genre de déformation tout particulier dans nos expériences sur l'écoulement des corps solides, sur le forgeage, sur le poinçonnage et sur le rabotage des métaux ; mais entraîné par l'attrait des faits généraux, nous n'avons presque consenti qu'à regret à faire exceptionnellement les déterminations qui ne répondraient qu'à des questions d'intérêt privé.

Nous pensons qu'il y a lieu maintenant d'en agir tout autrement et de mettre au contraire les ressources dont nous disposons, en personnel exercé et en matériel, à la disposition des industriels qui auront besoin de coefficients bien déterminés.

La contexture intérieure des fers de diverses provenances mérite sous ce rapport un intérêt tout particulier, et il peut, sous ce

rapport, être opportun de décrire le procédé qui nous a toujours réussi pour retrouver et faire apparaître visiblement les traces irrécusables du mode de préparation du métal.

Dans quelques usines, notamment chez M. Haswell de Vienne, qui, dans les ateliers du chemin de fer Sud-Autrichien, a si bien réussi à mouler le fer par pression, en imposant aux fibres, par la forme des moules servant d'étampes, les directions et les courbures appropriées, on parvient facilement à attaquer assez profondément, par l'acide chlorhydrique étendu, une coupe faite dans la masse, pour que ces fibres restent en saillie, pendant que les parties intermédiaires, qui renferment des matières plus facilement attaquables, se dissolvent. On obtient ainsi un relief suffisant pour pouvoir encrer et imprimer avec une certaine exactitude; plusieurs des épreuves obtenues sont même fort bien réussies. On obtient assez de finesse, pour que les gros traits se dédoublent, en polissant avec plus de soin la coupe que l'on veut étudier, en la lavant avec de l'éther pour emporter toute trace de matière graisseuse, et en la traitant par une dissolution de sulfate de cuivre ou de bichlorure de mercure. Dans le premier cas, la partie franchement métallique se recouvre seule de cuivre; dans le second cas, c'est du mercure qui s'y précipite et qui lui conserve une apparence relativement blanche et brillante par rapport aux parties voisines qui se colorent en rouille, et qui perdent absolument leur poli pendant le lavage. Ce dernier procédé est certainement le meilleur; il suffit pour y réussir de verser le sel de mercure, en dissolution très diluée, et en mince filet sortant d'un tube effilé, puis de laver aussitôt à l'eau pure en ayant soin d'incliner un peu la surface mouillée pour que le séchage se fasse de proche en proche. On active au besoin ce séchage en chauffant le métal et on vernit la surface le plus tôt possible au copal.

Les apparences ainsi obtenues sont très diverses sur le fer et sur l'acier; les différents fers sont très inégalement rubannés, ceux de Suède beaucoup plus difficilement que tous les autres. Les fibres sont si distinctes lorsque l'opération est bien faite, que leur entrecroisement, à l'endroit des soudures, devient tout à fait manifeste, et qu'on peut lire par conséquent tous les détails de fabrication, distinguer le nerf du grain, reconnaître les parties soudées par approche, retrouver le sens du laminage et

signaler au besoin tous les défauts d'homogénéité quels qu'ils soient. Ce procédé, en usage depuis longtemps dans les ateliers du chemin de fer du Nord, a déjà été communiqué par nous à toutes les usines qui nous l'ont demandé et qui se sont empressées de l'adopter. Son emploi doit devenir général.

L'effet est tout différent sur les aciers fondus, qui ne s'oxydent que par points et non par lignes parallèles, particulièrement au bord des lèvres de raccordement des petites bulles préexistantes, refermées ensuite par le martelage.

Ces moyens de constatation deviendront certainement, à l'étranger comme chez nous, un des accessoires les plus essentiels des expériences sur les fers.

---

## [ I ]

## DOCUMENTS RELATIFS AU BUREAU DES ESSAIS DES ÉTATS-UNIS.

Organisation du bureau des États-Unis pour les essais sur le fer, l'acier, etc.

*Président.* — Lieutenant-colonel Laidley;  
 Commandeur Beardslee;  
 Lieutenant-colonel Gillmore;  
 Ingénieur en chef, David Smith;  
 Sooy Smith, ingénieur civil;  
 Holly, ingénieur civil.

*Secrétaire.* — R. Thurston, ingénieur civil et professeur à l'Institut de Stevens<sup>1</sup>.

Ce bureau est institué par le président des États-Unis, conformément aux dispositions de la section 4, d'un acte faisant application des diverses dépenses civiles du gouvernement, pour l'année présente, expirant le 30 juin 1876, et pour divers autres objets, approuvé le 3 mars 1873.

1. L'institut technologique de Stevens, à Hoboken, mérite d'être cité parmi les écoles plus spécialement consacrées à l'enseignement théorique et pratique de la mécanique.

M. Edwin A. Stevens a attribué un terrain suffisant sur les bords de l'Hudson, et près d'un million de francs à la création d'une école pratique à Hoboken, petite ville de l'État de New-Jersey, située en face de New-York, et par conséquent de la manière la plus favorable pour une institution de cette nature.

« L'enseignement ne sera pas entièrement gratuit, si ce n'est pour les jeunes gens qui auraient été spécialement désignés par les curateurs; il n'est pas non plus dans mes intentions que le coût de l'instruction soit entièrement payé. Je laisse à la discrétion des curateurs le soin de fixer la proportion qu'il faudra laisser à la charge des élèves. »

Les exécuteurs de la volonté de E. Stevens, en considération des besoins du pays et de l'intérêt que le donateur a toujours pris au développement des arts

Il a pour objet de déterminer, par des expériences directes, la résistance et la valeur de toutes les sortes de fer, d'acier, et des autres métaux qui lui seront soumis ou qu'il aura pu se procurer, et de publier des tables indiquant la résistance et la valeur de ces matériaux dans leur application à la construction.

**A. USÉ ET DÉTÉRIORATION.** — *Instructions.* — Examiner et rendre compte de l'usé et de la détérioration des roues de wagons, essieux, rails et autres pièces, dans les conditions habituelles de leur emploi.

**B. PLAQUES DE BLINDAGE.** — *Instructions.* — Faire des essais sur les plaques de blindage et recueillir les chiffres résultant des expériences déjà effectuées pour déterminer les caractères des métaux convenables pour cet emploi.

**C. RECHERCHES CHIMIQUES.** — *Instructions.* — Arrêter et exécuter un plan d'investigations relatives aux relations entre les propriétés chimiques et les propriétés mécaniques des métaux.

**D. CHAINES ET CABLES.** — *Instructions.* — Déterminer le caractère du fer qui convient le mieux aux chaînes-cables, les meilleures formes et proportions des anneaux et les qualités du métal employé dans la fabrication des câbles en fil de fer et d'acier.

**E. CORROSION DES MÉTAUX.** — *Instructions.* — Étudier la question de la corrosion des métaux dans les conditions habituelles de leur emploi.

mécaniques, ont décidé que l'établissement d'instruction fondé, suivant sa volonté, serait une école d'ingénieurs-mécaniciens.

Un vaste bâtiment a été construit dans ce but; de nombreux modèles y ont déjà été réunis; on y a établi des laboratoires et des ateliers; le cours d'études a été fixé à quatre années; une école préparatoire y a été ajoutée pour que les élèves puissent y acquérir les connaissances nécessaires à l'admission. La faculté a été constituée sur la désignation de MM. H. Morton, président; A. Mayer, professeur de physique, Robert Thurston, professeur de la théorie et de la construction de machines, V. Wood, professeur de mathématiques et de mécanique, A. Leeds, professeur de chimie, et des professeurs de dessin de machines, de langues et de belles-lettres.

Quarante-neuf élèves ont suivi déjà les cours de l'école supérieure en 1874.

On voit par ces indications sommaires, le rôle important auquel l'Institut technologique de Stevens est appelé; la fondation du bureau d'essai des métaux contribuera à initier les élèves aux connaissances pratiques les plus essentielles.

F. EFFETS DE LA TEMPÉRATURE. — *Instructions.* — Rechercher les effets des variations de température sur la résistance et les autres qualités du fer, de l'acier et des autres métaux.

G. POUTRES ET COLONNES. — *Instructions.* — Instituer et exécuter une série d'expériences pour déterminer les lois de la résistance des poutres, traverses et colonnes, à la déformation et à la rupture.

H. FER FORGÉ. — *Instructions.* — Étudier et établir les propriétés mécaniques et physiques du fer forgé.

I. FONTE. — *Instructions.* — Considérer et établir les propriétés mécaniques et physiques de la fonte de fer.

J. ALLIAGES MÉTALLIQUES. — *Instructions.* — Entreprendre une série d'expériences sur les caractères des alliages et sur la recherche des lois de leurs combinaisons.

K. EFFORTS SIMULTANÉS. — *Instructions.* — Combiner et réaliser une série d'expériences sur l'action d'efforts orthogonaux simultanés, dans la vue de la détermination des lois.

L. PHÉNOMÈNES PHYSIQUES. — *Instructions.* — Faire une investigation spéciale sur les phénomènes physiques qui accompagnent la déformation et la rupture des matériaux.

M. RÉCHAUFFAGE ET LAMINAGE. — *Instructions.* — Observer et expérimenter les effets du réchauffage, d'un nouveau laminage ou plus généralement d'une nouvelle mise en œuvre; du martelage comparé au laminage et du recuit des métaux.

N. ACIERS FABRIQUÉS PAR LES PROCÉDÉS MODERNES. — *Instructions.* — Établir la constitution et les caractères des aciers Bessemer, à feu ouvert, ou obtenus par d'autres procédés nouveaux.

O. ACIERS POUR OUTILS. — *Instructions.* — Établir la constitution et les caractères, ainsi que les adaptations spéciales des aciers à outils.

Nous joindrons à cet énoncé général la traduction des principales circulaires de la Commission.

La Commission instituée par le Président des États-Unis pour faire connaître les expériences sur les métaux employés dans la construction, désire s'assurer le concours de tous ceux qui portent intérêt à ce grand travail et recevoir d'eux toutes informations sur les résultats des recherches faites par les premiers observateurs ou par les contemporains.

Je prends la liberté de vous adresser les circulaires qui indiquent l'étendue des travaux entrepris par la Commission et j'espère que vous voudrez bien l'aider, dans la forme que vous préférerez, à recueillir toutes informations relatives soit au travail général de la Commission, soit aux sujets spéciaux dévolus à ses comités.

Les chiffres recueillis dans le cours de la pratique et la relation des recherches spéciales déjà faites, ou en cours d'exécution sont particulièrement désirées.

La Commission s'attend à recevoir des informations précises et d'utiles suggestions, tant de la part des praticiens que des savants, et elle espère que le travail entrepris, tel qu'il est indiqué par cette note, sera heureusement enrichi par les investigations qui viendront de ces deux directions.

L'importance nationale de cette entreprise justifie l'espérance que nous avons d'une sérieuse et effective coopération.

---

Les Comités du bureau sont chargés de conduire les diverses investigations et les recherches spéciales qui leur sont demandées, même pendant l'intervalle qui s'écoulera pour la préparation des machines d'essai. Les recherches devront offrir le caractère d'une bonne critique scientifique et consister en conséquence en une détermination précise des propriétés physiques et mécaniques d'un certain nombre d'échantillons, de manière à reconnaître et à énoncer les lois des phénomènes de la résistance à la flexion, à la déformation et à la rupture.

Le bureau prendra les dispositions nécessaires pour développer

l'étendue de ses investigations, de manière à pouvoir examiner tous les spécimens qui lui seraient adressés par son Président, comme ceux dont il pourra faire l'acquisition, aussitôt que les appareils seront installés; en ce moment des circulaires donneront des indications précises sur les conditions auxquelles les échantillons à essayer devront satisfaire et établiront avec soin les informations exigées pour leur acceptation.

R. H. THURSTON, *Secrétaire du Bureau.*

---

#### COMITÉ A; USÉ ET DÉTÉRIORATION.

Le Bureau des essais de fer, d'acier, etc., institué par le Président des États-Unis, en conformité de la section 4 de l'acte du congrès faisant application de certaines dépenses civiles du gouvernement, et approuvé le 5 mars 1873, a été chargé, comme partie de son travail, de rechercher les modes de détérioration et d'usé des métaux dans les applications du génie civil et de la mécanique, et d'en décrire les effets.

Le bureau doit prendre en mains ce sujet et publier les données numériques et statistiques qu'il pourra acquérir, par expérience ou par communication, dans la forme qui lui paraîtra la plus utile au gouvernement, au public et à la profession de l'ingénieur.

Il sera donc heureux de recevoir de toutes sources sérieuses de tels documents, que le secrétaire puisse réunir dans une forme aussi précise et aussi exacte que possible, une description du mode de déformation, la rapidité de la détérioration, et l'indication des lois qui gouvernent l'usé dans toute circonstance particulière, bien définie.

Les chefs du service actif de toutes les lignes de chemins de fer peuvent l'aider efficacement en lui fournissant le résumé de l'usé des rails par tonne transportée, avec l'indication du poids primitif bien exact, du mode de fabrication et des caractères du rail, du nombre de tonnes transportées, de la durée du rail, et de l'état final qui a exigé le remplacement. Des échantillons des rails

remarquables par leur état de conservation ou par le défaut contraire serviraient au bureau, s'ils lui étaient adressés, à la recherche des propriétés chimiques ou autres qui auraient donné à la matière une valeur spéciale pour les conditions dans lesquelles elle devrait être employée.

De semblables informations et une semblable statistique relativement à l'usé des bandages, des essieux, et des autres parties du matériel roulant et des machines seraient également d'un grand intérêt.

Les ingénieurs qui ont recueilli précédemment des données analogues, sont priés de transmettre au Comité la copie de leurs notes.

L'usé déterminé par des trains très chargés, ou marchant à grande vitesse est, comme pour les circonstances ordinaires, une branche importante du sujet. Lorsqu'il est possible, on désirerait que la composition des trains, le maximum, le minimum, le poids moyen supporté et la rapidité de la marche ou le nombre des révolutions par minute puissent être indiqués. Le mode de graissage est un élément essentiel : il conviendra de connaître sa nature, le mode d'emploi, la fréquence de renouvellement et la quantité de matière employée. On fera connaître le coefficient de frottement lorsqu'il sera connu. Il sera bon aussi d'indiquer s'il s'est produit quelque échauffement, et dans quelles conditions de vitesse et de surfaces frottantes.

Les remarques du conducteur ou toutes précautions particulières dans les soins donnés, si elles sont formulées en termes concis et précis, seront acceptées avec reconnaissance.

L'usé des outils dans les différentes conditions de la pratique des ateliers est un autre sujet d'investigation.

En pesant avec soin les outils avant et après leur emploi, de manière à reconnaître la perte de matière on obtiendra les meilleures données sur la rapidité de l'usé. L'étendue de la surface travaillée, le volume de la matière enlevée par l'outil devront être déterminées avec soin.

La forme de l'outil, le mode d'opérer, la nature du métal dont il est formé, le degré de trempe, le caractère du métal sur lequel il opère, et les autres observations de l'ouvrier, s'il y en a, seront indiquées en détail. L'information aura encore plus de valeur si l'outil lui-même et des spécimens des copeaux produits étaient envoyés.

La force motrice nécessaire pour le fonctionnement de l'outil sera quelquefois déterminée et ce renseignement pourrait être de grande valeur.

Le dernier travail de M. Tresca. — Mémoire sur le rabotage des métaux — est un excellent exemple de ces recherches.

Le Comité adressera ses remerciements pour toute information qui rentrera dans l'ordre de ses investigations.

R. THURSTON, *Président.*

---

#### COMITÉ C; RECHERCHES CHIMIQUES.

La Commission des États-Unis pour les essais des fers, des aciers et autres métaux se propose de faire une série de déterminations sur l'influence du carbone, du phosphore, du silicium, du manganèse et autres éléments sur la résistance, la raideur, l'élasticité et les autres propriétés du fer et de l'acier. Les échantillons seront analysés par les chimistes attachés à la Commission et seront soumis à divers essais mécaniques d'extension, de torsion, de compression et autres modes d'action. Toutes les expériences seront répétées de manière à restreindre les incertitudes au minimum.

Vous aideriez grandement la Commission, aussi bien que l'industrie du fer en lui fournissant des barres de fer et d'acier dans les conditions suivantes :

Barres rondes ayant 2<sup>me</sup>, 15 de long (7 pieds) et 37 millimètres (1 pouce 1/2) de diamètre.

Barres laminées, dans le cas où vous auriez des laminoirs convenables, sinon des pièces forgées au lieu de barres, de 75 millimètres d'équarrissage (3 pouces) sur 0<sup>me</sup>, 46 de long (18 pouces).

Barres poinçonnées, à une extrémité, des initiales du fabricant, avec l'indication du nombre des rechauffages et des doublages qui ont été employés. Au cas où l'on n'aurait pas ces renseignements, indiquer seulement à une des extrémités le nom du fabricant et le numéro de la pièce.

Des indications sur les matières premières employées, les procédés suivis dans la fabrication des barres, les dimensions du lingot ou du lopin, le nombre des réchauffages, la proportion dans laquelle le forgeage et le laminage ont été employés dans la transformation, le tout indiqué dans une note, avec un numéro d'ordre correspondant à celui de la barre, seraient très importantes. Elles sont en conséquence particulièrement recommandées. Votre propre analyse, avec indications de la nature de l'essai au charbon, au cas où vous en auriez fait, devra être indiquée dans la description réclamée.

Vos essais mécaniques sur la matière fournie, avec indication des dimensions des échantillons essayés, devraient également être joints.

Ayez la complaisance de conserver les barres jusqu'à ce que la Commission vous informe de l'adresse à laquelle elles devront être expédiées.

Sortes de fer et d'acier demandées :

L'une quelconque de celles indiquées ci-dessous ou la série entière :

1 barre d'acier contenant 0,40 p. 400 de carbone.			
1	—	0,20	—
1	—	0,30	—
1	—	0,40	—
1	—	0,50	—
1	—	0,60	—
1	—	0,70	—
1	—	0,80	—
1	—	0,90	—
1	—	4,00 p. 400 de carbone.	

Après avoir choisi ces barres d'après vos essais de carbone, il serait bon de renouveler chaque essai afin d'éviter toute erreur.

Il est important que les autres éléments soient de teneur uniforme; en conséquence les barres devraient être choisies dans des charges formées avec les mêmes matières premières et dans des conditions similaires.

Prière aussi de fournir :

1 barre des différents fers et aciers de qualité particulièrement

bonne ou de qualité particulièrement mauvaise, ou qui présenteraient un caractère spécial ou inusité.

1 barre de votre meilleur fer forgé, portant la marque de fabrique.

1 barre du fer forgé le plus dur, mais non refroidi subitement.

1 barre du fer forgé le plus mou.

1 barre d'acier puddlé de qualité moyenne.

Toute barre que vous croiriez utile de soumettre aux essais, en ayant soin d'indiquer son mode de fabrication et les propriétés qui la caractérisent.

Lorsque ces barres auront été expérimentées, on se propose de faire une série d'essais dans lesquels la proportion de manganèse varierait de un dixième pour cent, les autres éléments restant les mêmes; on ferait ensuite une autre série pour le phosphore, ou pour les autres éléments.

Les outils d'acier donneront lieu à un autre mode d'information.

Ces déterminations exigeront des milliers d'échantillons et seront poursuivies pendant de longues années. Le résultat final formera une synthèse scientifique sur la fabrication du fer et de l'acier, et montrera comment toutes les qualités mécaniques requises pourraient être obtenues à volonté.

A. L. HOLLEY,

*Président du Comité des recherches chimiques, et des essais sur les aciers obtenus par les nouveaux procédés.*

#### COMITÉ E: CORROSION.

Le Comité de la corrosion des métaux, au bureau des États-Unis pour l'essai des fers, aciers et autres métaux, a pour instruction d'étudier la corrosion des métaux dans les conditions de leur emploi.

Ses travaux devront nécessairement consister à observer la corrosion qui s'est produite dans ces conditions et à recueillir les observations et les expériences qui ont été faites ailleurs.

Pour cette importante partie de sa mission, il réclame l'assistance de tous ceux que leurs recherches, leurs intérêts ou leurs occupations ont conduit à observer la rapidité et le mode de destruction (par corrosion) des métaux employés dans la construction.

Des comptes rendus complets et clairs sont demandés dans tous les cas observés, qui montrent soit une corrosion relativement rapide, soit un effet contraire. Il est désirable autant qu'on le pourra, dans ces circonstances, de fournir un échantillon du métal et de la face détériorée, pour que l'analyse en puisse être faite. Vous êtes instamment prié d'envoyer ces échantillons au colonel Laidley, président du bureau à l'arsenal de Watertown, Watertown, Massachusets, avec une relation complète de toutes les circonstances qui seraient venues à votre connaissance et qui auraient influé sur la rapidité de la corrosion dans le cas particulier. Les échantillons ainsi envoyés seront analysés avec le plus grand soin.

Si grande que soit l'importance du sujet de la corrosion des métaux, nos connaissances sont si restreintes et si mal définies, que la marche de la destruction ne peut être prédicta avec certitude dans un cas donné. Vous favoriserez le Comité en lui faisant connaître les sources d'informations qui vous paraîtraient de quelque valeur, telles que les rapports des ingénieurs, des architectes et des savants, ou les articles publiés par les journaux scientifiques sur le même sujet.

Nous vous accuserons, avec nos remerciements, réception de l'assistance que vous nous aurez prêtée.

W. SOOY SMITH, *Président*, Lieutenant-colonel GILLMORE,  
Com. BEARDSLEE.

---

#### COMITÉ F ; EFFETS DE LA TEMPÉRATURE.

Le bureau institué par le Président des États-Unis, conformément aux dispositions d'un acte du congrès, approuvé le 3 mars 1875, relativement aux essais des fers, aciers et autres métaux, a

chargé ce Comité de poursuivre des investigations sur les modifications que les changements de température peuvent apporter dans les propriétés des métaux.

Le Comité désire compléter ses recherches expérimentales sous ce rapport, par les résultats analogues déjà obtenus dans d'autres expériences et qui peuvent être extraits de sources authentiques. Il vient en conséquence, solliciter les communications des observateurs qui auraient fait des recherches utiles à la tâche qu'il a entreprise.

Les faits observés sur les rails et les machines soumis à l'influence des températures observées dans les latitudes septentrionales, où ils se trouvent exposés aux détériorations et à la rupture pourraient fournir des données fort utiles. Les caractères de la cassure et l'état des surfaces de frottement devraient être consignées en même temps que les données statistiques habituellement recueillies. Des spécimens montrant les particularités de la matière, et des photographies quand cela paraîtrait nécessaire, seraient très bien reçues. Lorsqu'une analyse quantitative des métaux qui présenteraient des caractères particuliers aura pu être faite, leur relation facilitera beaucoup la détermination des causes auxquelles ces particularités doivent être attribuées.

Les statistiques des chemins de fer les mieux entretenus nous seraient utiles pour établir des comparaisons. Les lamoins qui confectionnent les rails et les autres pièces de fer essayées au mouton pourraient fournir de précieux éléments sur l'effet des changements de température sous le rapport de la résistance au choc.

Quelques expériences ont déjà été faites dans cette direction et il est à désirer que les résultats de ces recherches puissent être communiqués dans le plus grand détail et avec la plus grande exactitude. Les monographies publiées, l'indication des mémoires insérés dans les publications scientifiques et dans celles qui se rapportent à l'art de l'ingénieur, enfin les études inédites seront considérées comme documents importants.

Toute assistance donnée au Comité dans l'accomplissement de ses recherches sur le changement dans la force et la cohésion des métaux et de leurs alliages pour une certaine variation de température, sur la détermination de l'expression mathématique de

la relation entre ces deux circonstances, sur l'obtention de formules exactes ou approchées qui les lient, en un mot tout résultat sérieux et pratique, utile aux ingénieurs et aux constructeurs, sera reçu avec reconnaissance.

R. THURSTON, *President.*

---

#### COMITÉ G ; POUTRES, SUPPORTS ET COLONNES.

Un comité du bureau des États-Unis, institué pour l'essai des fers, aciers et autres métaux, a été chargé de préparer et d'effectuer les expériences nécessaires pour arriver à la détermination des lois de la résistance des poutres, supports et colonnes à un changement de forme et à la rupture.

Ce comité, désireux d'attirer vers cette branche de recherches les savants doués d'aptitudes spéciales, d'après l'expérience de chaque pays, de manière à obtenir des résultats de la plus grande valeur pratique, sollicite l'aide et la coopération de tous ceux qui fabriquent ou qui emploient des pièces de cette nature.

Beaucoup d'expériences ont été faites dans les forges qui se livrent à la fabrication des poutres en fer, et leurs résultats ont été sans doute notés avec soin et enregistrés. Le comité demande avec instance les copies de ces procès-verbaux et des tables. Les ingénieurs, les architectes et les industriels ont aussi fait de nombreuses expériences sur des poutres en fonte, et sur des consoles et supports en fer assemblés à rivets; leurs résultats seraient aussi très précieux pour la commission.

Il est désirable que des informations, aussi complètes que possible, sur la constitution et le mode de fabrication du fer employé aux essais, accompagnent le compte rendu des expériences, spécialement l'analyse chimique du métal, lorsqu'elle aura été soigneusement faite.

Les dimensions des différentes parties des échantillons expérimentés seront exactement indiquées, et pour les pièces rivetées, les dimensions et le mode de distribution des rivets seront nette-

ment décrits. En tout cas, on fera connaître la méthode employée pour l'application et la mesure des efforts exercés.

Les sections transversales des échantillons essayés, dessinées exactement à une échelle suffisante pour en relever les dimensions facilitera beaucoup l'intelligence et l'analyse des résultats.

Pendant la construction des appareils commandés par le bureau, le Comité désire réunir les informations sus-indiquées et faire les expériences qui pourraient être exécutées avec des charges directes. Pour ces expériences et pour celles qu'il y aura lieu de faire, lorsque les machines auront été mises en service, les constructeurs sont priés de remettre tels poutres, supports ou colonnes qu'ils désireraient faire essayer avec le plus grand soin, et une complète impartialité.

Il est bon que les personnes auxquelles on demande d'envoyer des pièces d'une certaine valeur, qui seront détériorées par les essais, soient informées que l'appareil commandé paraît devoir être le meilleur de ceux qui ont été employés pour cet usage, et qu'il possède toute la délicatesse et toute l'exactitude que l'on puisse se promettre dans l'état actuel des connaissances sur la construction des machines. Le premier appareil pourra supporter 400 tonnes, et sera remplacé, à une date prochaine, par un autre appareil agissant jusqu'à 1000 tonnes.

Toutes indications sur la meilleure direction des essais et sur les moyens d'exécution qui seraient de nature à augmenter leur valeur pratique, sera reçue avec satisfaction. Des remerciements seront adressés à leurs auteurs et à tous ceux qui nous auront prêté leur assistance.

Les spécimens des poutres, supports ou colonnes envoyés pour les essais devront être poinçonnés à l'une de leurs extrémités et d'une manière distincte, d'un numéro, de la marque de fabrique et des initiales du fabricant ; ils seront adressés au colonel Lindley, président du Bureau, à l'arsenal de Watertown, Watertown, Massachussets.

Les comptes rendus d'expériences déjà faites et toutes les informations demandées seront adressées au président de ce comité, à Maywood, Illinois.

SOOY SMITH, *Président* ; Lieutenant-colonel GILLMORE,  
et ingénieur en chef D. SMITH.

## COMITÉ J ; ALLIAGES.

Un Comité du bureau institué par le Président des États-Unis, conformément à l'acte du congrès, approuvé le 3 mars 1875 a reçu mission, pendant le temps que durera la construction des appareils en cours d'exécution pour son travail habituel et pendant les moments qui pourront y être consacrés, d'étudier les propriétés mécaniques, physiques et chimiques des alliages des métaux usuels et de déterminer s'il est possible les relations entre les lois des phénomènes de combinaison et celles des résistances.

Le Comité désire obtenir les éléments de toutes les expériences qui ont déjà été faites dans cette direction, leur connaissance devant nécessairement lui être d'un grand prix pour ses recherches subséquentes. Il aimeraient que ces éléments fissent connaître l'exacte constitution chimique de chacun des alliages examinés, tant par la synthèse que par une analyse ultérieure.

Sa densité, sa chaleur spécifique, sa conductibilité, les proportions de ses éléments, la relation de sa constitution chimique avec celle d'une série de combinaisons de même nature, faites dans la proportion des équivalents chimiques, seraient indiquées autant que possible. Un petit nombre d'exemples bien étudiés seraient sous ce rapport plus intéressants qu'un grand nombre de faits isolés.

Il est en même temps désirable que la charge de rupture, la limite d'élasticité, la ductilité, le retour à l'état primitif, l'homogénéité, la dureté et les autres propriétés mécaniques de la matière aient pu être déterminées et complètement chiffrées.

Là où l'expérimentateur n'aura fait qu'une partie du travail, le Comité est disposé à le continuer, si le même alliage lui est fourni en suffisante quantité sous la forme convenable.

Les indications sur les travaux de cet ordre qui auront été publiés, et sur les monographies de quelque portion de ce sujet, seront acceptées avec remerciements. Les recherches faites spécialement pour le Comité seront considérées d'une importance plus spéciale.

Les services de physique et de chimie dans les différents collèges et universités seraient en position pour venir utilement en aide au Comité et leur coopération est tout particulièrement réclamée.

Les écoles d'ingénieurs sont dans les meilleures conditions pour assister le Comité, et leurs communications seront reçues avec la plus grande satisfaction.

Des formulaires destinés à recevoir l'indication des données d'expériences leur seront envoyés sur leur demande.

Les spécimens d'alliages à essayer par le Comité devront être accompagnés, sur le formulaire, d'une indication sur leur constitution précise, ainsi que de toutes les informations qu'il aura été possible d'obtenir, sur les particularités qui distinguent l'alliage et sur l'objet spécial que l'on voudrait constater par l'expérimentation.

Lorsqu'il y aura possibilité, on demande d'adresser un ou plusieurs spécimens de l'alliage, sous la forme et les dimensions sur lesquelles l'expérience sera demandée.

R. THURSTON, *Président.*

---

Il nous a semblé que les indications ainsi données sur les recherches qu'il conviendrait de poursuivre, sur les propriétés des matériaux étaient de nature à attirer l'attention des ingénieurs et des maîtres de forges. Nous pensons que le programme du Bureau des États-Unis, qui comprend sans doute quelques exagérations, soulève un grand nombre de questions bien formulées, qu'il importait d'ailleurs de soumettre aux méditations des intéressés, au risque même de ne pas éviter des répétitions qu'une organisation moins subdivisée n'aurait pas rencontrées.

Nous avons trouvé, dans une brochure intitulée : *Abstract of statement of the extent and character of the work of the united states board appointed to test iron, steel, and other metals*, des informations complémentaires qui sont de nature à faire res-

sortir les difficultés rencontrées par le bureau, et les causes de la suspension, au moins momentanée, des allocations budgétaires qui lui avaient été tout d'abord accordées.

Aussitôt que l'organisation des comités s'est trouvée complète, et que les détails des différents programmes ont été rédigés, le président du bureau, conformément aux instructions, a commandé une machine d'essai de la puissance de 400 tonnes, tant pour l'extension que pour la compression, et de dimensions suffisantes pour agir sur des colonnes ou des tiges de 9 mètres (30 pieds) de long. Sur les 400 000 francs (75 000 dollars) accordés par le Congrès, plus de 262 000 ont été affectés à cette machine, à ses fondations, au bâtiment qui doit l'abriter, ainsi qu'à la machine à vapeur destinée à fournir la puissance motrice, aux grues et autres accessoires de la machine. Le surplus a été réparti entre les comités et a été employé en frais de voyage.

Après avoir expédié ses circulaires, le bureau s'est occupé des essais qui pourraient lui être demandés par des manufacturiers dans leur propre intérêt, et a indiqué dans les termes suivants ses vues et ses intentions en cette matière :

Considérant que le bureau se propose, aussitôt que les circonstances le permettront, de faire profiter les maîtres de forge des avantages de ses machines d'essai et de l'habileté de ses expérimentateurs, à la charge d'une raisonnable rémunération, de manière qu'ils puissent faire connaître par la publicité les propriétés dont ils jouissent, il est décidé que le bureau ne fera pas connaître les noms des fabricants dont les matériaux auront été soumis aux essais; mais que cette résolution ne doit pas être considérée comme un refus de reconnaître l'obligeance de ceux qui lui auront fourni des échantillons; ces services seront au contraire acceptés avec reconnaissance et publiquement reconnus.

Aucune recherche de ce genre n'a encore été faite, d'ailleurs, la machine d'essai n'étant pas encore installée, et aucune allocation n'ayant encore été affectée à son emploi habituel.

Voici maintenant les informations de détail qui se trouvent relatées dans la brochure que nous analysons.

Le bureau n'a reçu qu'un petit nombre d'observations de différentes natures des personnes auxquelles il s'était adressé.

Quelques communications intéressantes lui sont cependant parvenues de France et d'Allemagne; elles seront publiées avec les rapports, après décision du Congrès.

Plusieurs comités ont commencé leurs investigations sur les sujets les plus importants. D'autres, au contraire, ont décidé qu'ils attendraient la complète installation de la grande machine d'essai, qui est en cours d'exécution, avant de commencer leur travail. En un ou deux cas, les comités, après s'être mis à l'œuvre, ont interrompu leur travail en apprenant qu'il était probable qu'ils ne seraient pas maintenus par le Congrès et que les ressources nécessaires pour continuer avaient été refusées par la commission du budget.

Cependant le manque de fonds n'a pas empêché, dans d'autres circonstances, que de bons travaux aient été réalisés.

Le bureau de l'équipement du département de la marine a permis aux comités du fer et des chaînes de faire leurs déterminations sur la machine d'essai des docks de la marine, à Washington, et d'y employer une série fort complète et très coûteuse d'échantillons qui avaient été préparés pour les recherches de l'administration navale, mettant ainsi entre les mains du comité un matériel précieux qui lui permettrait d'observer des faits intéressants et d'en déduire certains principes.

« Lorsqu'il devint probable que l'interruption des travaux de l'un des comités les plus importants allait devenir la conséquence du défaut de ressources financières, plusieurs sociétés industrielles s'empressèrent d'offrir les matériaux nécessaires au travail, quoique la dépense dût être considérable; et lorsque la rédaction du rapport fut également ajournée, par suite des frais qu'exigeaient les calculs, les dessins et les diagrammes qui devaient y être compris, un gentleman, dont l'appréciation était évidemment plus éclairée que celle de nos représentants au Congrès, s'offrit à supporter toute la dépense. »

Les travaux exécutés ont été résumés dans un rapport lu à la Société des Ingénieurs civils américains, ainsi qu'il suit :

Le plan général a été annoncé, et il doit constituer une exploration scientifique et méthodique du champ qu'il a à embrasser. Les matériaux seront non seulement expérimentés et les résultats établis, relativement à l'examen du métal désigné par son habitude dénomination, mais la pièce d'essai, dans chaque cas, sera

étudiée de manière à mettre en lumière la part pour laquelle ses qualités spéciales pourraient être attribuées soit à sa composition chimique, soit à sa constitution physique.

Un laboratoire de chimie a été établi à l'arsenal de Watertown, et le chimiste du bureau, M. André A. Blair, précédemment à Saint-Louis, a déjà fait un grand travail sur les fers, aciers et autres métaux et alliages; les spécimens ainsi connus sous le rapport de la composition, ont été soumis à divers genres d'actions mécaniques, pour établir l'influence de la composition sur les résistances à la déformation et à la rupture.

Une collection d'aciers est en préparation sous la direction du comité des recherches chimiques; les autres éléments restant constants, le carbone y varie régulièrement de 0 à 2 pour cent; une autre série, uniforme quant à la proportion du carbone, varie sous le rapport de la teneur en silice; de même encore pour le phosphore, pour le soufre, pour le manganèse. Dans chaque série, un seul élément varie entre de larges limites, tandis que les autres restent autant que possible dans la même proportion. L'exactitude des proportions dans la fonte est vérifiée par l'analyse, et les spécimens sont alors soumis aux opérations mécaniques; cette investigation n'avait encore été jamais entreprise dans les conditions de ce projet; elle est considérée par les membres du bureau comme la plus importante recherche qui puisse être réalisée dans cette direction, et la seule dans laquelle le chimiste et l'ingénieur se soient trouvés associés pour une aussi importante investigation scientifique.

Le comité de l'usé et de la détérioration s'occupe de recueillir les observations déjà publiées, tout en se livrant à des expériences spéciales, à l'institut de Stevens, particulièrement sur l'influence favorable de la lubrification des surfaces. Le Président fait construire les appareils nécessaires, et déjà une grande somme de travail a été effectuée.

Le comité des plaques de blindage recherche, chez nous comme à l'étranger, les meilleures informations relatives à la détermination des propriétés qui conviennent à cet emploi, et aux conditions de fabrication qui peuvent les assurer. Les archives des départements de la marine et de la guerre et celles de l'Amirauté anglaise sont considérées déjà comme les sources les plus précieuses pour les informations du comité.

Le comité des recherches chimiques a pris en main l'objet de sa spécialité.

Le comité des chaînes et câbles s'est proposé de déterminer les caractères du métal le plus approprié à ces fabrications, ainsi que la forme et les dimensions des entretoises; il s'occupe de la compilation de tous les documents depuis longtemps réunis au département de la marine. Les dernières expériences du commandeur Beardslee sont très nombreuses, et cet officier classe, pour l'usage du bureau, tous ces documents dans un ordre méthodique. Des expériences spéciales seront prochainement faites pour combler toutes les lacunes ainsi reconnues. Le dépôt de la marine, à Washington, offre des facilités exceptionnelles, non seulement pour essayer, mais encore pour confectionner les chaînes de toutes dimensions, les étrésillons de toutes formes et de toute qualité de métal.

Le comité de la corrosion des métaux étudie toutes les conditions de la destruction des métaux par l'usage. Bien des informations ont été prises; quelques recherches chimiques ont été exécutées, et le plan d'un travail plus étendu est arrêté pour l'année prochaine.

Le comité de l'influence de la température a réglé et étendu le champ de ses investigations. Les recherches seront poursuivies, si le bureau est maintenu pendant l'année qui va commencer, par son Président, qui a déjà réuni tous les matériaux publiés dans les recueils périodiques; plusieurs expériences nouvelles ont été faites, et les indications du dehors arrivent de différents côtés.

Le comité des supports et colonnes a arrêté un plan d'opérations qui comprend de délicates recherches sur la résistance des matériaux employés à cet usage, suivant leurs proportions et leurs formes. C'est là encore une des plus considérables et des plus onéreuses entreprises du bureau, à laquelle l'usage d'une machine d'essai de 400 tonnes devra être entièrement affecté. Le comité s'est assuré la coopération et l'aide active de quelques-uns des principaux industriels du pays. Les résultats d'expériences déjà faites ont été communiqués au comité par les ingénieurs des chemins de fer et des usines, et dans d'autres cas, où de nouvelles expériences ont été faites par des entreprises privées, le bureau a été invité à y assister et à y prendre part. Tous les résultats lui sont communiqués, et quelles que soient

les dimensions des pièces sur lesquelles il désirerait opérer par lui-même, elles seront facilement fournies sans entraîner aucune dépense à la charge du gouvernement. Les constructeurs de ponts, les ingénieurs civils, les mécaniciens et les architectes sont en correspondance avec le bureau, et ils lui témoignent en toute occasion le plus grand intérêt et la plus cordiale sympathie. Le comité lui-même s'est livré à des expérimentations considérables, particulièrement à Buffalo, où les matériaux ont été le plus ordinairement fournis gratuitement par les maîtres de forges.

Le comité du fer forgé a réuni une grande quantité d'utiles informations et les procès-verbaux d'un grand nombre d'expériences; parmi d'autres sujets intéressants, il s'est procuré une très volumineuse série de documents d'expériences sur l'influence du temps, par rapport à l'élévation de la limite d'élasticité par traction, durant des périodes variant de quelques secondes à une année. La variation de qualité, due aux différences de dimensions et de forme, et les modifications de ténacité, de ductilité et de travail d'élasticité ou de rupture, sont soumises à son investigation. Le Président de ce comité recherche aussi l'influence des dimensions de pièces d'essai sur la résistance à la rupture.

Le comité de la fonte suit la même marche que le comité du fer, avec la perspective de résultats analogues.

Le comité des alliages a fait porter ses investigations sur la résistance et les autres propriétés du bronze; elles peuvent être considérées comme le type de ce qu'il y aura à faire dans cette direction.

Plusieurs séries d'alliages de cuivre et d'étain ont été préparées en variant régulièrement les proportions, soit par centièmes, soit dans le rapport des équivalents chimiques; ils ont été fondus en barres de 1 pouce carré de section et d'environ 0<sup>m</sup>,70 de long (28 pouces de long). Leurs températures de fusion ont été déterminées dans le bain; quelques-uns ont été moulés en sable; d'autres dans des lingotières de fer. Les pesées ont été faites sur une balance du bureau géodésique, dans le laboratoire de l'institut de technologie. Une série a été réservée pour la détermination, par le docteur Mayer, des coefficients de dilatation. Les autres ont été fracturés par flexion transversale, soit par des charges statiques, soit au moyen de l'appareil d'essai du labora-

toire, et les flèches observées ont été mesurées jusqu'à la quatrième décimale, en pouces, et avec la même précision en subdivisions du mètre. Les déformations ont été observées et les résultats exprimés graphiquement. Les diagrammes ont révélé quelques circonstances intéressantes. Les fractures ont été photographiées, et, toutes les fois qu'il a paru utile, ont été décrites par le professeur Leeds, chimiste et minéralogiste de l'institut. Les coefficients d'élasticité ont été calculés et comparés. Des séries complètes ont été ensuite rompues par extension avec résultats rapprochés de ceux des expériences à la flexion, et elles ont été accompagnées en outre de pièces d'essai déformées par compression.

Toutes les séries ont été finalement essayées sur une machine à enregistreur autographique, et l'on a représenté graphiquement les lois de la variation de la résistance, de l'élasticité, de la ductilité. On a reconnu l'effet de la continuité de la charge sur l'augmentation de la limite d'élasticité.

Tous les spécimens ont été soumis à l'examen du chimiste et une comparaison faite entre les proportions employées et la composition de la barre, de manière à apprécier la perte de métal et autant que possible le changement de caractère physique apporté par la fusion et le coulage. Quelques faits scientifiques, nouveaux et intéressants, ont été mis en lumière par cet examen, et un nouveau minéral, formé d'acide stannique avec trace de cuivre, s'est formé, dans certains cas, en magnifiques cristaux aciculaires. Ce minéral a été soumis à l'examen et à l'analyse du professeur Leeds.

Cette recherche a été complétée par la détermination du poids spécifique du métal tel qu'il se trouve dans le commerce, puis fondu et comprimé mécaniquement, soit aussi en masse ou finement pulvérisé.

Une semblable recherche est en cours d'exécution, sous la direction du comité, par le professeur Thurston, son président, qui a aussi pour but d'étudier, autant que ses ressources le lui permettront, les alliages de cuivre et de zinc au même point de vue. Avant d'entreprendre ce travail, le Président a recherché tout ce qui avait été publié sur ce sujet, et dans un rapport préliminaire, d'une centaine de pages environ, il a résumé tous les faits déjà connus sur les alliages de cuivre et d'étain. Ce travail a été complété par la représentation graphique des travaux de

Mallet, Mathessen, Calvert, Johnson et autres, en ce qui concerne la conductibilité pour la chaleur et pour l'électricité, le poids spécifique et les autres propriétés des alliages de cuivre et d'étain que ces auteurs ont étudiés. Son intention est de tenir compte des faits déjà établis par ces autorités reconnues, pour se borner à les compléter par de nouvelles investigations, en évitant toute répétition inutile qui entraînerait des pertes de temps.

Ce mémoire est considéré comme étant de grande valeur, particulièrement pour l'ingénieur-mécanicien, puisque l'ensemble de ces renseignements se trouve pour la première fois réuni sous une forme aussi compacte et aussi accessible.

Une recherche préliminaire a précédé l'examen des alliages de cuivre, d'étain et de zinc, sur le plan de la précédente.

Le comité des actions orthogonales prépare le programme d'une série d'expériences destinées à la détermination de la résistance des matériaux sous l'action simultanée d'efforts exercés dans des directions rectangulaires, comme, par exemple, dans le cas d'une tige soumise à une torsion où à un cisaillement transversal en même temps qu'à la compression ou à l'extension. Ce sujet n'a été aucunement étudié jusqu'ici.

Le comité des phénomènes physiques se dispose à rechercher les effets produits par les actions mécaniques dans les différents modes d'énergie, comme le développement du magnétisme, de l'électricité et de la chaleur. Le fait du développement de la chaleur et de l'électricité est depuis longtemps mis en évidence, mais aucune investigation systématique ou scientifique n'a encore été poursuivie dans cette direction.

Le comité de l'acier obtenu par les procédés récents s'est réuni au comité des recherches chimiques. Il rassemble aussi les indications de quelque valeur et entreprend la rédaction d'un rapport analogue à ceux dont il a déjà été question.

Le comité du rechauffage et du reforgeage s'occupe de l'essai des fers dans les différentes phases de la fabrication, affinés ou non affinés, et de la recherche des effets des rechauffages successifs, de la répétition des effets de forgeage et de laminage, pour déterminer, autant que possible, la quantité de travail nécessitée par les différents fers, et les températures qui, pour chacun d'eux, conduisent aux meilleurs résultats.

Le comité des aciers à outils exécute à un atelier de la marine

de Washington une série de nombreuses expériences pour établir la valeur des divers aciers à outils. Une large collection d'aciers est déjà préparée; leur composition est déterminée et ils sont observés avec soin dans l'exécution des travaux de tournage, de rabotage, de perçage et de découpage.

Leur manière de se comporter étant ainsi connue en même temps que leur composition, il sera sans doute facile de faire connaître les caractères physiques et chimiques des meilleurs d'entr'eux. Les noms des fabricants auraient dans cette recherche, un certain intérêt de publicité, mais ils ne seront pas divulgués. Le bureau, dans tout son travail, évitera toute indication personnelle qui pourrait nuire directement ou indirectement aux fabricants. Les connaissances scientifiques d'utilisation pratique immédiate et les faits, aussi bien que les coefficients, qui intéressent le génie civil sont le seul but de ses efforts.

---

Depuis que ce résumé a été publié, plusieurs de ces investigations ont été continuées, et les rapports sont maintenant terminés ou tout au moins en préparation.

Environ 150 aciers ont été complètement analysés et le comité des recherches chimiques est occupé à les essayer par comparaison sous le rapport de leurs propriétés physiques et mécaniques. Le travail ne sera sans doute jamais terminé par suite de l'insuffisance des ressources financières.

Les comités du fer forgé, du rechauffage et reforgeage du fer, et des câbles, se sont réunis pour leur rapport qui est terminé. Dans ce rapport les informations qui les concernaient ont été réunies avec soin, et l'on doit croire que les faits et les chiffres recueillis seront fort utiles aux producteurs et aux consommateurs de fer, et plus spécialement les chapitres qui analysent et décrivent les effets des différents détails des procédés de fabrication et de laminage du fer, les effets des différentes méthodes d'étirage et les résultats des efforts tentés pour déterminer la meilleure méthode d'exécution des câbles de grande résistance, pour établir comment une résistance uniforme peut être impartie

aux barres de différentes sections, et comment de grandes masses peuvent acquérir les mêmes qualités mécaniques que les petites pièces.

Le rapport du comité des alliages métalliques contenant six cent pages de manuscrit, avec dessins, tables et diagrammes, est terminé en ce qui concerne les alliages de cuivre et d'étain ; le travail sur les autres alliages de cuivre et de zinc, et de cuivre étain et zinc, est fait également, et les rapports sont en cours de préparation. Le résultat de toutes ces opérations est condensé sous la forme la plus réduite dans un petit modèle sur lequel la résistance de tous les alliages possibles de ces trois classes est exprimée par des ordonnées à l'échelle d'un pouce pour 25 000 livres par pouce carré.

Sur cette petite planche triangulaire se trouve représentée toute composition possible, binaire ou ternaire, de ces trois métaux, cuivre, zinc et étain. Pareils modèles pourraient être faits pour représenter soit la ductilité de tous ces alliages, soit leur travail d'élasticité de rupture, ou toute autre qualité déterminée. On fera remarquer que nous avons ici une méthode certaine de reconnaître les maxima. En étudiant le modèle on reconnaît un de ces maxima pour les proportions du métal de Munk avec environ deux ou trois pour cent d'étain, et l'on voit en même temps que le moindre écart dans l'un ou l'autre sens réduit la résistance dans une très grande mesure. Dans une certaine direction une variation très faible rend le métal si fragile qu'il tombe en morceaux dans le moule. On remarque aussi que la résistance de certains alliages peut être déduite de leur composition, au moyen d'une formule qui l'exprime en fonction de celle de la composition qui offre le maximum de résistance.

Ainsi  $Z + 4E = M$  peut être considéré comme une relation dans laquelle Z est la proportion du zinc, E celle de l'étain dans tout alliage ternaire et M la somme qui correspond à la composition du maximum de ténacité. Cette tenacité est très voisine de  $40000 + \frac{1}{2}Z$ , expression dans laquelle Z est la teneur en zinc dans tous les alliages de ténacité maximun. Pour les alliages de cuivre et d'étain, contenant de 0 à 20 % de ce dernier métal, la ténacité est à peu près

$$30000 + 1000E = T,$$

$E$  étant la proportion d'étain en centièmes, l'alliage ayant été bien malaxé, et la fonte étant parfaitement saine. Pour le laiton la formule approchée sera, entre certaines limites,

$$30\,000 + \frac{1}{2} Z = T.$$

Les autres comités n'ont pas fait de rapport, mais il n'est pas douteux que, s'ils avaient été suffisamment soutenus par le Congrès, ils auraient également fourni des informations utiles.

Il ne paraît s'être produit aucune opposition à la continuation du travail du bureau, ni dans le Congrès ni au dehors, si ce n'est dans la commission des appropriations, dont quelques membres ne se sont pas convaincus que le travail du bureau est d'autant grande importance que celui de plusieurs bureaux du département de l'Intérieur, y compris l'office des patentés ; que c'est la seule voie à suivre pour que les recherches minérales du pays et les industries métallurgiques reçoivent tout leur développement et que, par aucun autre moyen, les ingénieurs dans leurs projets, ou les manufacturiers qui emploient le métal, ne pourront acquérir cette exacte connaissance de leurs matériaux, qui est essentielle à la sécurité de leurs constructions.

Il est, dans une certaine mesure, satisfaisant de pouvoir affirmer que, quoique nos législateurs aient montré une si mince appréciation de l'importance d'une telle œuvre nationale, ceux des autres contrées ont été prompts à adopter la marche indiquée, et que des demandes d'instructions soient venues de différents côtés touchant l'organisation ou les méthodes de travail, indiquant que de semblables commissions seront probablement formées dans d'autres pays.

Nous devons ainsi espérer que nos projets seront mis à exécution et entraîneront avec eux les avantages industriels qui auraient été la conséquence des recherches de notre propre bureau.

Il est très regrettable que les hommes de science et d'industrie de notre pays aient laissé amoindrir ainsi leur influence sur une question vraiment nationale. La création de ce bureau a été demandée par presque toutes les grandes entreprises, par les écoles scientifiques et par les facultés d'un grand nombre de nos collèges ; des mémoires ont été présentés au Congrès pour de-

mander une dotation libérale pour ce bureau, de la part de l'association américaine du fer et de l'acier, de la Société américaine des ingénieurs civils, de l'institut américain des ingénieurs des mines, des différents instituts de technologie et d'autres institutions encore. Mais nos représentants ont pris beaucoup moins d'intérêt à la matière que l'on avait lieu de l'espérer, et la commission législative des appropriations a introduit dans ses dernières propositions un avis pour la suppression du bureau à la fin de l'année 1878.

---

Nous nous permettons de présenter maintenant quelques observations sur cette organisation qui aurait dû rendre d'incontestables services, par une étude plus méthodique qu'aucune autre, sur toutes les questions relatives à la résistance des matériaux.

Sa fondation même indique les préoccupations sous l'empire desquelles le projet avait été conçu, et il répondait vraiment à un besoin de notre époque. Il était encore plus indispensable aux États-Unis que partout ailleurs, par suite du développement prodigieux de leurs industries métallurgiques, qui se trouvent tout d'un coup dans l'obligation de fabriquer de bons produits sans être guidées dans cette production par cette expérience séculaire qui est depuis longtemps acquise dans toutes les contrées de l'Europe.

Cette nécessité a conduit les membres du bureau des essais à donner tout d'abord à leurs installations une importance exagérée. Il n'était pas nécessaire d'immobiliser un capital de quinze cent mille francs dans les premiers appareils, et, si l'on y avait bien réfléchi, on aurait parfaitement reconnu qu'en dépensant une somme dix fois moindre, on se trouvait assuré d'obtenir un outillage très satisfaisant.

Le nombre et la notoriété des membres qui comptaient le bureau répondaient fort bien à l'importance de l'entreprise, mais on ne comprend pas qu'ils se soient donné entre eux sept le luxe de constituer quinze comités distincts, ayant des attributions et des ressources en quelque sorte indépendantes. Ce n'est pas que les subdivisions, à part quelques-unes cependant, aient été mal

établies, mais la connexion entre tous ces points de vue n'était-elle pas vraiment assez intime pour que les mêmes membres s'en occupassent plus utilement en commun? Si l'on voulait faire un recueil de toutes les expériences de quelque valeur, ne connaît-il pas de confier cette recherche bibliographique à un seul des membres du bureau, sauf à opérer ensuite le classement méthodique de tous les éléments recueillis? On a commencé sur tous les points à la fois et épousé, sans cependant mener à fin aucune des questions les plus urgentes, un budget considérable.

En dehors de ce vice d'organisation, on doit reconnaître toutefois que le bureau des États-Unis a donné, par ses programmes, un caractère parfaitement défini au but qu'il voulait poursuivre, et que jamais peut-être on n'avait aussi nettement fait ressortir les avantages d'une résistance des matériaux qui tiendrait un égal compte de la composition chimique et des qualités correspondantes du métal, au point de vue de ses divers emplois.

Ces programmes doivent être pour nous d'un grand enseignement, et ils indiquent à grands traits l'esprit dans lequel devront être conduites les expériences les plus utiles sur la résistance des matériaux dans l'avenir.

Ce point de vue général aurait encore été mieux accusé, si le nombre des subdivisions était resté plus en rapport avec les questions vraiment distinctes, et nous nous permettrons sous ce rapport quelques observations critiques. On n'a pas d'ailleurs assez distingué entre les faits d'expériences que l'on peut méthodiquement soumettre aux investigations du laboratoire, et les faits qui résultent de la pratique industrielle et qui ne donnent lieu qu'à des observations, plus multipliées, il est vrai, mais dont le physicien ne parvient à se saisir qu'à l'aide de statistiques bien faites, et sur lesquelles, ce qui est fort rare, il y ait lieu de compter absolument. Cette observation s'applique tout particulièrement au comité A, dont le domaine indiqué est tout entier extérieur, s'il est possible de s'exprimer ainsi, tandis qu'il serait cependant d'un réel intérêt de rechercher les coefficients d'usé de certains matériaux dans des conditions plus simples et en quelque sorte théoriques, ces coefficients devant ultérieurement servir à expliquer et à discuter les résultats de la pratique.

N'en est-il pas de même pour le comité O, qui, en dehors des ateliers et en s'appropriant leurs indications, n'aurait eu absolu-

ment à déterminer au laboratoire que des analyses rentrant dans le cadre C ou dans le cadre A.

Les questions relatives à la corrosion des métaux se rattachent intimement à celles de ce comité A, dont il aurait été plus convenable qu'elles ne fussent pas séparées, et les plaques de blindage ne peuvent donner vraiment leur mesure que dans les essais de tir, qui sont dirigés par les soins de l'artillerie ou de la marine.

Les programmes D, F et H auraient formé un ensemble parfaitement homogène, s'ils avaient été réunis, et il ne restait plus alors que ces quatre chapitres principaux, le fer, la fonte, l'acier et les alliages, y comprenant, avec toute l'étendue que comportaient les nouvelles vues du bureau américain, l'étude la plus attentive de l'influence de la composition et des circonstances physiques.

Quant à la recherche des lois relatives aux divers modes de déformation, nous aurions compris qu'elles fussent dévolues à un comité différent, à la condition qu'on s'y adonnât surtout à faire ressortir les rapprochements qui les lient les uns aux autres. On ne voit pas bien comment les effets multiples produits soit par une cause unique, soit par des actions simultanées, se sont trouvés détachés de ce programme général, car on peut hardiment affirmer maintenant qu'une déformation dans un sens n'est jamais isolée, et qu'elle est toujours accompagnée d'autres modifications corrélatives, dont la théorie fait trop souvent abstraction, il est vrai, et auxquelles l'expérimentateur lui-même n'apporte pas toujours une suffisante attention.

En un mot, il nous aurait semblé que ces deux vues bien distinctes :

L'influence de la composition et des circonstances physiques dans les résultats des différentes propriétés mécaniques d'un métal ;

L'étude comparée de chaque mode de déformation sur les différents métaux soumis à l'expérience directe ;

Auraient peut-être constitué un programme plus philosophique dans sa simplicité, et plus ample par ses résultats pratiques.

N'oublions pas cependant que le premier de ces points de vue paraît avoir dominé dans les préoccupations du bureau américain, et que la science lui sera redevable de l'avoir mieux que jamais mis en parfaite lumière.

## III

## DOCUMENTS PUBLIÉS PAR LE COMPTOIR DES FORGES DE SUÈDE.

En attendant la publication des résultats obtenus aux États-Unis, on ne saurait mieux apprécier l'utilité des recherches sur la résistance des matériaux qu'en étudiant le travail exécuté par le Comptoir des Forges de Suède, pour comparer les fers si remarquables de ce pays aux fers les plus similaires des autres contrées. On trouve dans ce travail essentiellement national des indications d'intérêt général, qui se rattachent à cette même question de l'influence de la composition et de la provenance sur les propriétés physiques et mécaniques du métal.

Une note de M. Akerman, professeur à l'école des mines de Stockholm, a donné, à l'occasion de l'Exposition de 1878, des indications très précises sur la fabrication du fer de Suède et les causes qui s'opposent à ce qu'elle prenne un grand essor, en l'absence presque complète du combustible minéral, et dans les conditions fâcheuses où elle se trouve, par rapport à l'éloignement entre les usines et les forêts qui leur fournissent le charbon de bois.

La Suède produit les meilleurs fers sans doute, mais à des prix relativement élevés, alors que tous les efforts de l'industrie moderne tendent, au contraire, à employer utilement les matières premières qui répondent strictement aux conditions d'emploi des produits à fabriquer. Or, la Suède ne fabrique guère que de la fonte, du fer, de la tôle et du métal Bessemer; elle ne s'occupe qu'accessoirement de la transformation de ces produits, et reçoit même de l'étranger la plus grande partie des métaux ouvrés qu'elle emploie. C'est ainsi que le chiffre de ses exportations, en minerais et métal, en 1876, équilibre à peu près, en argent, celui de ses importations, quoiqu'il soit sorti 14 920 tonnes de minerai, 26 499 tonnes de fonte, 13 504 tonnes de massiaux, et 98 159 tonnes de fer en barres, sans y comprendre les fers de plus petit

échantillon que l'on pourrait considérer déjà comme en partie manufacturés. Il a été introduit, dans cette même année, 2 193 tonnes de tôle, et l'on n'en constate à la sortie que 4 268.

La tôle de Suède, par suite de sa qualité exceptionnelle, a cependant une telle importance pour le pays, que la plupart des essais dont nous nous proposons de rendre compte s'y rapportent, en nous donnant aussi l'occasion de faire connaître les propriétés mécaniques des meilleures marques.

Les trente-huit tableaux d'analyses qui complètent le travail de M. Akerman passent en revue tous les minérais exploités en Suède, au nombre de 750, et montrent en général leur extrême pureté sous le rapport du phosphore. C'est ce qui a permis à l'auteur de les caractériser de la manière suivante :

« En général, les minérais suédois renferment très peu de phosphore. Nous citerons comme les plus dépourvus de cet élément les minérais des célèbres mines de Dannemora, qui n'en contiennent que 0.002 à 0.003 pour 100, et ceux de Persberg, dont la teneur en phosphore oscille entre les mêmes chiffres et un chiffre légèrement supérieur. Le plus souvent, la teneur en phosphore de nos minérais varie entre 0.003 et 0.030 pour 100. Nous avons toutefois des minérais en roche dont le phosphore s'élève jusqu'à quelques dixièmes pour cent. Les minérais tenant plus de un dixième pour cent de phosphore ne sont utilisés que pour la fonte de moulage ou en mélange avec des minérais plus purs. »

« Les minérais les plus dépourvus de phosphore sont utilisés en général à la production de barres plates pour acier cémenté et acier fondu, et comme le fer suédois, consommé en Angleterre a surtout servi de matière première pour la fabrication de l'acier, la valeur des fers suédois dépend, de vieille date, de l'absence de phosphore. »

Le compte rendu des essais sur les tôles est publié sous le titre de : « Expériences de force et de traction sur des tôles suédoises produites par des procédés divers, faites aux frais du Comptoir des forges. »

Lorsque nous aurons dit que ce mémoire est signé, avec MM. Didron et Westman, de M. Angström, membre de l'Académie des sciences de Stockholm, nous aurons par avance constaté toute sa valeur scientifique et pratique.

Les auteurs paraissent surtout attacher de l'importance à leurs essais sur l'emboutissage et sur la rupture des tôles sous l'action d'un mouton, et l'on comprend leur préférence à cet égard, puisqu'il s'agissait, pour eux, de prouver l'excellence des matériaux de leur fabrication pour la construction des coques de navires. On nous pardonnera de faire passer ce point de vue en seconde ligne et de nous occuper d'abord des essais à la traction, signés de M. Dellwik, directeur de la section de métallurgie du Comptoir des forges, et chef de l'établissement des essais.

En ce qui concerne les expériences de traction, qui sont les moins nombreuses, elles ont été faites sur des barrettes de tôle de 20 centimètres de longueur, et il y a lieu de faire remarquer que cette longueur paraît être adoptée comme type dans plusieurs pays étrangers, comme elle l'est chez nous pour les essais de réception de la marine et d'un certain nombre de Compagnies de chemins de fer.

C'est surtout au point de vue de la comparaison entre les tôles de fers fondus par le procédé Bessemer, et celles des fers préparés par le puddlage ou par le procédé du Lancashire, avec des minéraux suédois presque identiques, que les essais sur les tôles méritent d'être signalés avec quelques détails; mais il convient de préciser d'abord les conséquences tirées des seuls essais sur le métal Bessemer.

Toutes les barrettes avaient 200 millimètres de longueur et 9 millimètres d'épaisseur. Dans les séries les plus complètes, les échantillons, provenant d'une même usine, ont été désignés sous le nom de tôles laminées, et de tôles martelées et laminées, de manière à faire ressortir l'influence ou la non-influence d'un martelage du lingot avant laminage; et pour chacune de ces sortes de tôles on a opéré sur la tôle non recuite, sur la tôle recuite, et sur la tôle trempée dans de l'eau à 28°, après avoir été chauffée au rouge cerise. Il y a ainsi six points de vue différents qui font de ces expériences les types les plus complets qui aient encore été réalisés, mais nous nous bornerons à indiquer les points qui ressortent des essais du fer le plus connu, celui de Motala (tableau VI de la publication).

La distinction entre la tôle simplement laminée et celle indiquée comme martelée et laminée se trouve caractérisée par les circonstances suivantes : Les deux lingots provenaient d'une

même charge du convertisseur Bessemer; celui qui devait être martelé avait une section de 297 millimètres en carré, et on le ramenait sous le pilon à la même section que l'autre  $445 \times 185$ . On voit par ce chiffre que le travail mécanique n'avait, à proprement parler, produit aucun étirage, mais simplement un malaxage transversal, puisque la section était restée sensiblement la même; dans les deux cas l'épaisseur était ensuite aménée par laminage à 9 millimètres seulement.

De tous les chiffres qui résultent des essais à la traction, celui que nous avons l'habitude de considérer en premier lieu est le coefficient d'élasticité, et c'est précisément celui qui n'est pas indiqué dans le tableau suédois. Nous avons dû le déduire des nombres de deux colonnes intitulées : limite d'élasticité en kilogrammes par millimètre carré et tension élastique en 0/0. Suivant nos formules françaises, on a  $E = \frac{R}{t}$ , et pour le premier fer

de Motala  $E = \frac{20.9}{0.000959} = 21794$  par millimètre carré, ou  $21794 \times 10^6 = 21.79 \times 10^9$  par mètre carré.

Afin d'éviter la répétition de chiffres inutiles, nous indiquerons toujours les valeurs des coefficients d'élasticité en supprimant le facteur  $10^9$ , que le lecteur aura soin d'y restituer.

La même détermination ayant été faite pour tous les fers du tableau, nous avons pu en former la table suivante, dans laquelle on peut reconnaître immédiatement l'influence des diverses circonstances dont nous venons de parler.

Dans chaque série les tôles sont rangées d'après leur teneur croissante en carbone de 0.001 à 0.003, et il est à remarquer que le soufre et le manganèse s'y trouvaient également en proportions croissant dans le même ordre, de 0.00005 à 0.00010 pour le premier, de 0.00151 à 0.00238 pour le second. Le silicium et le phosphore étaient au contraire en quantité à peu près la même dans tous les échantillons, de 0.00017 à 0.00023 pour le silicium, (0.00029 dans le premier échantillon), et de 0.00028 à 0.00031 pour le phosphore.

La pureté de ces fers donne un intérêt exceptionnel aux essais, et le mode de classement adopté conduira sûrement à la détermination de l'influence exacte du carbone et du soufre lorsque

leurs proportions varient du simple au double entre les limites indiquées.

Voici la table abrégée de tous les coefficients d'élasticité :

TOLES SEULEMENT LAMINÉES.			
Non recuites.	Recuites.	Trempées.	Moyennes.
k. 21.79	k. 21.46	k. »	
21.73	24.00	21.62	
22.41	22.62	21.48	
21.31	22.38	20.73	
22.21	20.77	21.26	
21.89	22.29	21.27	21.83
TOLES MARTELÉES ET LAMINÉES.			
22.30	22.23	22.82	
21.51	24.64	22.28	
21.93	23.21	20.59	
21.40	23.06	22.33	
21.04	23.31	22.14	
21.16	23.79	22.03	22.48
Moyennes générales. 21.76	23.04	21.15	22.15

Sous cette forme les résultats se déduisent, pour ainsi dire, d'eux-mêmes :

Entre les limites observées, la différence de composition n'exerce pas une influence appréciable sur le coefficient d'élasticité;

Les tôles martelées et laminées présentent un faible avantage sur celles qui ont été laminées seulement;

Le recuit augmente le coefficient d'élasticité; la trempe le diminue pour les tôles seulement laminées;

Le coefficient moyen 22.15 est en lui-même un peu élevé déjà; cependant il a été dépassé dans 14 expériences sur 29, et nous n'avons jamais compté jusqu'ici sur les chiffres égaux ou supérieurs à 23, qui sont dans cette seule série au nombre de cinq.

Les tôles Martin ont donné à peu près le même résultat, 22.19 en moyenne, mais la diminution devient déjà notable pour les fers puddlés de Motala, 20.46, et pour les fers Lancashire de la même usine 21.71.

Au reste les meilleures tôles du Yorkshire et du Staffordshire, essayées dans les mêmes conditions, ont donné pour coefficients moyens les nombres 21.03 et 21.25 avec une prédominance marquée dans le sens perpendiculaire au laminage.

L'acier doux de Terre-Noire se rapproche des Bessemer suédois en ce que l'on a trouvé 22.44 pour son coefficient d'élasticité.

De toutes ces indications, qui font connaître exactement la principale propriété mécanique des fers Bessemer de la Suède, il ne faut nous étonner, quant à présent, que de l'influence favorable du recuit qui semblerait devoir, au contraire, faciliter l'allongement et de l'influence inverse de la trempe.

Des tableaux analogues au précédent vont nous fournir des indications plus précises sur les limites d'élasticité et sur les diverses circonstances de la rupture.

En ce qui concerne la limite d'élasticité, il suffit de grouper ensemble les chiffres mêmes du tableau suédois.

*Charges correspondant à la limite de l'élasticité.*

TOLES SEULEMENT LAMINÉES.			
Non recuites.	Recuites.	Tremplées.	Moyennes.
20.9	16.4	22.9	
21.4	15.6	24.7	
21.9	17.8	25.1	
21.4	19.9	26.6	
21.9	18.9		
21.28	17.72	24.82	21.27
TOLES MARTELÉES ET LAMINÉES.			
20.4	20.4	28.2	
20.0	15.3	23.7	
21.4	18.8	22.9	
22.7	20.9	22.7	
23.2	20.3	21.7	
21.54	19.12	23.84	21.87
Moyennes générales.	21.42	24.33	21.57

La limite d'élasticité moyenne s'élève à 22<sup>1</sup> 57 par millimètre

carré; elle augmente généralement après la trempe avec la teneur en carbone, si ce n'est pour les tôles martelées et laminées. Le martelage n'améliore ces tôles, sous le rapport actuel, que dans une fort petite proportion.

L'influence du recuit et celle de la trempe sont au contraire extrêmement marquées; la première opération réduit la charge par millimètre carré de 3 unités, la seconde l'augmente de la même quantité, ce qui pourrait s'expliquer en admettant que les propriétés de la tôle sortant du lamoir constituent une sorte de moyenne entre celles qui lui sont imparties, en sens inverses, par le recuit et par la trempe; le métal ne deviendrait homogène, au point de vue physique, que par l'un ou l'autre de ces effets.

Les fers Martin de Motala sont inférieurs, 19.1; puis viennent les fers puddlés 14.85, et les fers Motala Lancashire 13.80. Les premières marques anglaises sont notablement supérieures 16.80, et le seul échantillon d'acier doux de Terre-Noire correspond exactement au chiffre moyen des fers fondus suédois.

Nous ne nous arrêterons pas sur la valeur de l'allongement élastique qui peut, pour chaque essai, se déduire des tableaux précédents; nous dirons seulement qu'il varie de 0.0009868 de la longueur totale, pour les tôles non recuites, à 0.000831 pour les tôles recuites, et à 0.001120 pour celles qui ont été soumises à l'action de la trempe; ces dernières doivent à leur refroidissement brusque une faculté d'allongement élastique beaucoup plus développée.

Les expériences suédoises sont si complètes que nous pouvons, sous la même forme encore, caractériser ces différentes tôles sous le rapport de la charge de rupture par millimètre carré, de la contraction de la section transversale, et de l'allongement final sur une longueur de 200 millimètres.

*Charge de rupture par millimètre carré de section transversale primitive.*

TOLES SIMPLEMENT LAMINÉES.			
Non recuites.	Recuites.	Trempées.	Moyennes.
k. 36.7	k. 33.6	k. 65.3	
40.3	35.2	63.4	
42.2	37.2	62.7	
43.9	40.6	61.6	
49.3	44.2	65.4	
<hr/> 42.48	<hr/> 38.16	<hr/> 63.72	<hr/> 48.12
TOLES MARTELÉES ET LAMINÉES.			
38.6	37.1	66.2	
39.2	34.3	63.5	
43.2	38.4	59.6	
45.1	40.0	63.7	
47.2	40.9	63.5	
<hr/> 42.66	<hr/> 38.14	<hr/> 63.30	<hr/> 48.10
Moyennes générales. 42.57	38.15	63.51	48.11

Les tôles en sortant du laminoir se rompent sous une charge moyenne de 42<sup>1</sup>/<sub>2</sub> 57; elles sont un peu affaiblies par le recuit, 38.15, mais leur ténacité est augmentée de la moitié de la valeur primitive par la trempe. Ce fait remarquable est d'autant mieux mis en lumière que les chiffres sont presque identiques pour les tôles martelées ou non martelées. Déjà un effet dans le même sens s'était manifesté dans la période élastique, mais il prend ici des proportions tout à fait remarquables.

D'un autre côté, la résistance à la rupture augmente sensiblement avec la proportion de carbone, au moins dans quatre séries; cette même influence est sans doute dominée par celle de la trempe dans les deux autres.

La tôle Martin ne s'élève par la trempe que de 40.9 à 55; la tôle puddlée résiste jusqu'à 33.1, à peu près comme la tôle Lancashire, 33.8, et les tôles anglaises Yorkshire et Staffordshire jusqu'à 36.4 dans le sens du laminage ou 31.5 dans le sens perpendiculaire. On comprend ici l'influence des matières étrangères qui

restent encore interposées entre les mises lorsque le laminage est terminé.

Si le mesurage de la section de rupture pouvait être obtenu avec exactitude, la contraction qu'elle présenterait, par rapport à la section primitive, serait certainement l'indice de la plus grande déformation de la matière, car à chacune des contractions limites correspondrait nécessairement un allongement dans le voisinage de la section de rupture qui est mesuré par le rapport inverse des sections.

Les expérimentateurs suédois ont inscrit cette détermination, tout en faisant remarquer qu'ils n'ont pu y apporter le même degré de précision qu'aux autres éléments de leurs essais. On trouvera ainsi dans le tableau suivant une évaluation de la limite extrême de la déformation de la matière; les chiffres primitifs exprimaient le rapport entre la section finale de rupture et la section initiale, mais nous avons préféré inscrire le rapport inverse qui pourra être comparé à l'allongement élastique et qui rend compte plus directement de la limite extrême de la malléabilité.

*Rapport entre la section initiale et la section de rupture.*

TOLES SIMPLEMENT LAMINÉES.			
Non recuites.	Recuites.	Trempées.	Moyennes.
2.50	2.69	1.38	
2.00	2.34	1.38	
1.83	2.34	1.72	
1.94	2.16	1.61	
1.74	1.77	1.18	
2.04	2.26	1.43	1.91

TOLES MARTELÉES ET LAMINÉES.			
Non recuites.	Recuites.	Trempées.	Moyennes.
2.68	2.42	1.86	
2.09	2.41	1.56	
1.76	2.32	1.64	
2.12	1.80	1.29	
1.80	2.01	1.53	
2.09	2.49	1.38	1.93
Moyennes générales.	2.05	2.22	1.93

L'influence de la composition se dégage ici d'une façon très nette en ce que le rapport diminue assez régulièrement à mesure que la proportion de carbone augmente. Cette indication est toutefois moins accusée sur les tôles trempées, pour lesquelles l'état moléculaire, résultant de la trempe, intervient d'une manière prépondérante.

Le rapport entre les sections, qui est 2.05 pour les tôles non recuites, s'élève à 2.22 pour le recuit et s'abaisse au contraire à 1.56 par la trempe ; c'est ce qui sera également constaté d'ailleurs, et dans des proportions plus considérables encore, pour l'allongement obtenu, au moment de la rupture, sur les barrettes d'essai de 200 millimètres.

Ces allongements étant en grande partie localisés, il nous a paru plus convenable de les exprimer directement en millimètres.

Le rapport entre la charge de rupture et celle qui correspond à la limite d'élasticité est plus grand pour les tôles trempées que pour les autres, de telle sorte que ces deux charges se trouvent agrandies, et dans la période d'élasticité et dans la période suivante, ce qui n'empêche pas l'allongement de rupture de rester de beaucoup le plus petit.

Nous ferons encore remarquer que les chiffres du tableau ci-joint sont plus grands pour les tôles recuites que pour le métal non recuit, ce qui semblerait indiquer encore une fois que l'homogénéité physique se trouve améliorée dans une certaine mesure, soit par le recuit, soit par la trempe.

*Rapport entre la résistance à la rupture  
et la charge qui correspond à la limite de l'élasticité.*

TOLES SIMPLEMENT LAMINÉES.			
Non recuites.	Recuites.	Trempées.	Moyennes.
1.76	2.03	n	
1.91	2.26	2.77	
1.93	2.09	2.54	
2.08	2.04	2.06	
2.25	2.34	2.45	
1.986	2.156	2.455	2.199
TOLES MARTELÉES ET LAMINÉES.			
1.89	1.85	2.35	
1.96	2.21	2.68	
2.02	2.04	2.60	
1.99	1.91	2.81	
2.03	2.01	2.97	
1.978	2.004	2.682	2.221
Moyennes générales.	1.982	2.080	2.210

La moyenne générale de tous les allongements de rupture est  $49.4 : 200 = 0.247$ , ce qui montre que tous les matériaux employés correspondent aux qualités les plus douces qui soient employées dans la construction.

L'influence de la trempe est telle qu'elle réduit précisément à moitié l'allongement effectif de la tôle recuite à la rupture.

Toutes les propriétés des matériaux pouvant être comparées à celles de la période élastique, le mémoire dont nous nous occupons a consacré une colonne particulière de ses tableaux à la relation de la limite d'élasticité à la résistance finale. Nous aimons mieux inscrire le rapport inverse ainsi qu'il suit :

*Allongements des barrettes d'essai de 200 millimètres de longueur,  
à la rupture.*

TOLES SIMPLEMENT LAMINÉES.			
Non recuites.	Recuites.	Trempées.	Moyennes.
mil. 56.0	mil. 72.0	mil. 39.0	
60.0	63.0	28.0	
34.0	62.0	29.2	
47.0	61.4	36.6	
46.4	62.0	25.0	
32.68	64.08	31.36	49.4
TOLES MARTELÉES ET LAMINÉES.			
60.0	62.0	31.4	
60.0	67.0	29.0	
51.8	60.0	36.6	
50.0	62.2	23.0	
53.0	59.4	35.2	
54.96	62.12	30.84	49.4
Moyennes générales. 33.82	63.10	31.30	49.4

La série des essais dont nous venons de rendre compte nous a paru tellement intéressante que nous sommes entrés peut-être dans trop de détails, mais en examinant à tous les points de vue les propriétés mécaniques des fers fondus de Motala, nous avons plus facilement pu mettre en lumière ses propriétés ; la même étude peut d'ailleurs être répétée sous la même forme pour les fers d'Iggesund, d'Uddeholm, de Storfors, de Björneborg et de diverses autres usines. Les résultats obtenus sont à très peu près les mêmes et nous pouvons ainsi résumer toutes les indications recueillies dans les essais à la traction de la manière suivante :

Pour les matériaux qui contiennent peu de soufre et peu de phosphore, les fers fondus laminés offrent un coefficient d'élasticité qui s'élève à 22, alors que celui des meilleurs fers puddlés ne s'élève qu'à 20.50.

Ces tôles ne peuvent être amenées au meilleur état d'homogénéité physique qu'à la suite d'un recuit.

Ces tôles recuites se maintiennent en deçà de la limite d'élas-

ticité lorsqu'elles ne sont pas chargées de plus de 18 kilogrammes par millimètre carré, et cette limite s'élève pour les tôles non recuites jusqu'à la charge de 21 à 42 ; pour les fers puddlés cette limite s'abaisse au-dessous de 15 kilogrammes. La trempe l'élève au contraire d'une manière notable.

Les fers fondu et recuits ne se rompent que sous une charge moyenne de 38 à 15 par millimètre carré, et la limite correspondante s'élève à 63.51 par le recuit, tandis que la tôle puddlée se rompt sous une charge moyenne de 33 kilogrammes.

Le rapport entre la section primitive et la section de rupture peut s'élever jusqu'à 2.22 pour les tôles recuites en métal fondu, mais ce degré d'amincissement est bien loin d'être atteint après la trempe.

En résumé les procédés Bessemer et Martin fournissent des tôles de qualités très supérieures aux tôles puddlées, mais quelle que soit leur pauvreté en carbone, elles ne doivent être employées qu'après recuit, auquel cas ces tôles répondent, sous le rapport de leurs propriétés mécaniques, aux meilleures conditions d'emploi dans la plupart des applications.

Les expériences d'emboutissage que décrit la publication suédoise ont été faites avec ou sans choc. Dans les premières on opérait avec un mouton cylindrique de 872 kilogrammes, terminé à sa partie inférieure par une calotte hémisphérique de 253 millimètres de diamètre, sur des plaques de tôle d'un mètre de diamètre bien assemblées sur un disque, percé au centre d'un orifice de 537 millimètres de diamètre. Ce mouton tombait de hauteurs variables, suivant la nature des tôles et l'on déterminait ainsi des fissures ou même une perforation complète. Les cinq premiers tableaux du recueil sont consacrés à ces expériences et montrent que si une chute de 4<sup>m</sup>.50 détermine toujours des fissures plus ou moins grandes au sixième ou au septième coup, et, dans certain nombre de cas, la pénétration complète de l'échantillon pour les tôles suédoises fondues, les meilleures tôles du Yorkshire et du Staffordshire n'ont pas même supporté l'action du même mouton dont la chute avait été réduite à 1<sup>m</sup>.50 ou même à 1 mètre. L'acier doux de Terre-Noire ne s'est rompu qu'au cinquième coup sous la chute de 4<sup>m</sup>.50, répondant ainsi aux mêmes conditions de résistance qu'un certain nombre de tôles suédoises. Quelques-unes de ces dernières

n'ont été soumises qu'à la chute de 1<sup>m</sup>.30 et l'on en rencontre deux, celles de Storfors et de Motala, obtenues par le procédé Bessemer, pour lesquelles il ne s'est produit de fissure sous cette chute qu'au vingt-cinquième coup de mouton.

Les enfoncements ayant été mesurés, lors de ces deux expériences comme pour toutes les autres, il est curieux de constater que les deux tôles se sont comportées d'une façon presque identique, bien que la seconde renfermât une proportion double de carbone. Les deux poches formées avaient respectivement, au moment de la rupture, 172 et 165 millimètres de profondeur, c'est-à-dire à peu près le tiers du diamètre.

On comprend l'importance que l'industrie suédoise attache à ces déterminations, mais les résultats obtenus n'étant réunis par aucune considération théorique, ne permettent quant à présent qu'une conclusion générale, très favorable à la résistance au choc des matériaux auxquels ils se rapportent.

Dans les deux séries exceptionnellement prolongées dont nous venons de parler, les profondeurs de la poche vont en augmentant d'une façon très irrégulière avec le nombre des chocs, chacun d'eux produisant cependant un effet qui va toujours s'amoindrisant. Le premier choc détermine une profondeur qui est à peu près le quart de celle qui précède la rupture.

Les essais d'emboutissage au poinçon, tableaux 12 à 17, confirment les résultats précédents mais il est plus facile d'en déduire quelques règles générales.

Les tôles étaient employées sous forme d'un disque de 320 millimètres de diamètre, et posées sur un autre disque percé d'un orifice circulaire de 200 millimètres. La poche était déterminée en chargeant successivement un poinçon à bout hémi-sphérique de 50 millimètres de diamètre, au besoin jusqu'à 40 000 kilogrammes. La profondeur de la dépression était mesurée pour des charges croissantes déterminées, et finalement on enregistrait celle à laquelle les premières fissures étaient signalées.

Il suffira de dire ici que cette charge-limite s'est élevée pour les tôles fondues à une moyenne de 37 000 kilogrammes, tandis que les tôles puddlées, n'ont résisté qu'à 1 300 kilogrammes, et les produits de la méthode du Lancashire qu'à 15 500 kilogrammes.

Pour celles de ces tôles qui ont été essayées sous les trois états déjà indiqués, les nombres comparatifs sont les suivants :

Tôles non recuites . . . . .	36 200 kil.
Tôles recuites . . . . .	38 100 »
Tôles trempées. . . . .	34 900 »

La trempe restreint notablement le champ des déformations, et amène la rupture sous l'action d'une charge notamment moindre. La plus grande dépression observée sur les tôles recuites a atteint 61 millimètres; elle n'a pas dépassé 30,3 ou la moitié de ce nombre pour les tôles trempées.

Ces indications complémentaires confirmant les conséquences que nous avons pu tirer des tableaux relatifs aux expériences de traction, et qui mettent dès à présent hors de doute les propriétés des fers fondus que l'on peut obtenir, avec les excellents minerais de Suède, par les procédés Bessemer ou Martin.

Les épreuves de ployage à froid qui sont résumées dans le tableau 18 ne promettaient qu'un intérêt bien secondaire, puisque toutes les tôles essayées avaient à satisfaire au même mode de déformation, l'enroulement, sur un cylindre de 28 millimètres de diamètre, de bandes de 9 millimètres d'épaisseur et de 80 millimètres de largeur.

Toutes les tôles suédoises soudées ont supporté cette épreuve jusqu'à l'enroulement sur une demi-circonférence; les tôles des autres provenances, à l'exception d'une seule (Yorkshire, dans le sens du laminage) ont présenté des fissures sous des enroulements variables de 16 à 80°; l'expérience, toute simple qu'elle paraisse, était donc bien choisie; on peut la considérer comme éliminatoire et très caractéristique; elle est d'ailleurs si facile à faire qu'on ne saurait trop la recommander aux praticiens, qui ne possèdent pas d'outillage spécial pour des essais plus complets.

## IV

DOCUMENTS PUBLIÉS PAR LA SOCIÉTÉ AUTRICHIENNE DES CHEMINS  
DE FER DE L'ÉTAT.

La publication de la Société autrichienne des chemins de fer de l'État porte pour titre : *Essais de résistance des fontes, fers et aciers de l'usine de Reschitza* (Hongrie), faits au laboratoire de l'École polytechnique de Munich, à l'occasion de l'Exposition universelle de 1878 à Paris, par M. le professeur Bauschinger.

Ce travail est certainement l'un de ceux qui jettent le jour le plus certain sur les propriétés mécaniques des fers ordinaires, comparées à celles des aciers Bessemer et Martin. Il comprend 148 tableaux d'expériences dont nous nous proposons de tirer quelques conséquences générales, sans toutefois les examiner avec tous les détails qui mériteraient d'être mis en lumière.

Les métaux expérimentés ont été les suivants :

Six numéros d'acier Bessemer, classés d'après la plus grande teneur en carbone ;

Six numéros d'acier Martin, classés de la même façon ;

Deux sortes de fer puddlé, une à grains et une à nerf ;

Deux sortes de fontes de moulage, l'une au bois et l'autre au coke ;

Enfin deux fontes obtenues par un mélange de fonte de moulage, au coke, et d'acier introduit dans la proportion de 10 et de 20 pour cent.

Tous les aciers ont été, ainsi que les fers puddlés, essayés à la traction, à la compression, au cisaillement, à la flexion et à la torsion ; les quatre sortes de fonte n'ont été soumises qu'à la traction, à la compression et à la flexion. Ce sont en réalité les essais relatifs à ces trois modes d'action des forces extérieures qui ont la plus grande importance et, en ce qui concerne surtout les aciers Bessemer et les aciers Martin, ils forment, dans le travail de la Société des chemins de fer de l'État, un ensemble si bien

coordonné et si complet qu'on en peut tirer des conséquences qui n'avaient pas été établies encore avec le même degré de sécurité.

« La fonte qui a servi à la fabrication des aciers Bessemer et Martin provient du traitement au bois de mineraux de fer magnétique, mélangé d'un peu d'hématite rouge ou brune.

« L'acier Bessemer a été obtenu avec cette fonte prise à l'état liquide au sortir du haut fourneau, sans addition de fonte à la fin de l'opération, ni de spiegeleisen, ni de ferro-manganèse ; la teneur de la fonte en manganèse est telle en effet qu'elle permet de pousser la décarburation jusqu'au degré voulu sans qu'il soit nécessaire de faire aucune addition au bain métallique.

« Les déchets, bouts et rognures qui proviennent de la fabrication des rails, bandages, essieux et des tôles, constituent pour une partie considérable les matières que l'on traite au four Martin. La fonte qu'on y ajoute provient des hauts fourneaux de Bogsan et de Dognaska. Quelque temps avant la fin de l'opération on ajoute au bain métallique une certaine quantité de ferro-manganèse.

« Le fer puddlé se fabrique avec de la fonte au bois dans des fours ordinaires, dont le revêtement est formé d'hématite rouge très riche. »

Les essais dont nous proposons de rendre compte tirent une partie de leur valeur de la connaissance exacte de la composition des minéraux et des métaux qui en proviennent. La Société a en effet publié sous le titre : *Analyses faites au laboratoire d'Oravicza*, un précis très intéressant des procédés employés dans ce laboratoire et nous pouvons en extraire les données principales qui suivent :

On y trouve à la page 40 les analyses des prises d'essai, à la fin de l'opération, des aciers Bessemer et Martin :

DÉSIGNATION.	ACIER BESSEMER.	ACIER MARTIN.
Carbone combiné.....	0.0259	0.4738
Graphite.....	0.4275	0.3000
Total.....	0.4534	0.4738
Silice.....	0.0443	0.0198
Manganèse.....	0.4892	0.0883
Cuivre.....	0.0279	0.0539
Phosphore.....	0.0590	0.0571
Soufre.....	"	"
Fer (par différence).....	99.5262	99.3071
	100.0000	100.0000

Le dosage du phosphore est à peu près le même dans les deux cas; il dépasse de très peu un demi-millième, et, quant à la teneur en carbone, qui différencie les numéros des deux fabrications d'acier, la voici telle qu'elle est indiquée à la page 44 du même opuscule.

Acier Bessemer N° 3.....	0.894 pour cent.
— 4.....	0.702 —
— 5.....	0.437 —
— 6.....	0.235 —
— 7.....	0.114 —
Acier Martin N° 2.....	1.142 —
— 3.....	0.934 —
— 4.....	0.808 —
— 5.....	0.562 —
— 6.....	0.304 —
— 7.....	0.109 —
Fer puddlé à grains.....	0.317 —
Fer puddlé à nerf.....	0.123 —

On voit par ces indications que les différents aciers, particulièrement ceux des numéros élevés, sont de véritables fers et qu'ils peuvent rentrer dans la catégorie des fers fondus qui sont examinés dans la note suédoise.

Les pièces de métal, nécessaires aux essais, ont été préparées à l'usine et on les a adressées à Munich, où M. le professeur Bauschinger les a soumises à divers modes d'action sur un appareil

d'essai parfaitement approprié. L'emploi de la presse hydraulique lui a facilité la libre disposition des efforts nécessaires et ses moyens d'observation, variés suivant les besoins, lui ont permis d'obtenir des résultats numériques indiscutables. Il a su obtenir ainsi un ensemble de données numériques d'un caractère plus complet et plus précis que celui des expériences mêmes de Hodgkinson, qui ont cependant servi à la première détermination des véritables coefficients.

Dans l'analyse que nous vous proposons d'en donner, nous suivrons l'ordre de la simplicité des phénomènes, comme cela est usité en France, la traction, la compression, la flexion, la torsion et le cisaillement, nous réservant d'entrer pour chacune de ces subdivisions, dans les détails relatifs aux dimensions et à la préparation des échantillons ainsi qu'aux méthodes spéciales d'observation.

La publication, dont nous cherchons à rendre compte dans ses traits les plus essentiels, a d'ailleurs apporté dans ses tableaux de chiffres une intéressante innovation. À la suite des tableaux relatifs isolément à chacune des expériences, elle réunit tous les résultats de même espèce, dans un tableau récapitulatif, imprimé sur papier de couleur différente, qui appelle immédiatement l'attention et qui facilite singulièrement les recherches. C'est ainsi que pour les essais de traction, de toutes sortes, les tableaux n° 81 et 82, suffisent pour rappeler toutes les déterminations individuelles, relatées dans les 33 tableaux numérotés de 47 à 80. Les deux formes ainsi employées permettent de retrouver tous les détails calculés relatifs à tous les essais de traction effectués sur les différents matériaux.

Les principaux essais de traction ont été faits sur des barres d'acier Bessemer et d'acier Martin, préparées de la manière suivante : les lingots, d'une section carrée de 400 millimètres de côté, ont été travaillés au pilon jusqu'à réduction à 100 millimètres de côté, puis étirés au laminoir en barres plates ou rondes.

Les barres plates étaient amenées ainsi à présenter une section rectangulaire de 90 millimètres sur 22 et une longueur d'environ 7 mètres. Un bout de 0<sup>m</sup>,40 de longueur a été réduit à froid à une section de 60 millimètres sur 12, avec têtes un peu plus larges aux extrémités. Ce sont ces petites lames qui ont donné lieu aux expériences d'élasticité. L'autre partie de la barre a été forgée et

rabolée à la section de 80 millimètres sur 12, et on y a également ménagé des têtes élargies, pour servir aux expériences d'homogénéité qui seront ci-après décrites. Le métal avait été ainsi allongé dans le rapport de 1 à 77.

Les mêmes lingots avaient également fourni des barres rondes de 46 millimètres de diamètre et de 7 mètres de longueur. Un échantillon de 40 centimètres avait été amené à froid au diamètre de 25 millimètres, avec têtes coniques, et un autre de 4<sup>m</sup>,60 tourné au diamètre de 36 millimètres, avec renflements aux extrémités. L'étirage, dans ce dernier cas, avait été produit dans la proportion de 1 à 93.

Les échantillons de fers puddlés étaient en tout comparables aux précédents, mais on leur a conservé des sections un peu plus grandes : barres plates 80 × 20, et 100 × 20; barres rondes, 25 millimètres de diamètre pour le petit échantillon, 50 pour le grand. On voit par ces indications combien les expériences doivent inspirer confiance, au point de vue de la comparaison entre les résultats relatifs aux différentes formes ou aux différentes matières.

Les fontes, après avoir subi une seconde fusion au four à réverbère, ont été coulées dans des moules verticaux, dont les dimensions étaient de 10 millimètres supérieures à celles des pièces d'essai. La longueur de toutes ces barres était de 1<sup>m</sup>,50; la section rectangulaire mesurait 80 × 30, ou le diamètre, 70.

En nous bornant pour un instant à considérer les seules expériences à la traction sur les aciers Bessemer et Martin, nous relevons les chiffres suivants :

	Moyenne.	Plus grand.	Plus petit.
Coefficient d'élasticité. . . . .	22.29	22.82	21.67
Limite d'élasticité. . . . .	26.81	46.20	18.33
Charge de rupture. . . . .	63.14	108.70	40.47
Allongement sur 250 millimètres	"	0.31	0.0094

Les sortes les plus riches en carbone donnent en général le moindre coefficient d'élasticité, la plus grande limite d'élasticité et la plus grande charge de rupture, mais ils se distinguent des autres par une réduction très notable dans la faculté d'allongement.

Afin de mettre ce fait en évidence dans ses véritables propor-

tions nous formerons le tableau suivant, dans lequel nous comprendrons tout à la fois les échantillons rectangulaires et les tiges rondes.

DÉSIGNATION.	TENEUR en carbone pour cent.	ALLONGEMENT sur 250 millimètres.
<b>Aciers Bessemer.</b>		
N° 3.....	0.894	0.022
4.....	0.702	0.208
5.....	0.437	0.196
6.....	0.233	0.193
7.....	0.114	0.249
<b>Aciers Martin.</b>		
N° 3.....	0.934	0.018
4.....	0.808	0.197
5.....	0.562	0.227
6.....	0.304	0.275
7.....	0.109	0.290
Fer à nerf.....	0.123	0.255
Fer à grain.....	0.317	0.224

Les fers puddlés se comportent sous ce rapport comme les fers fondus, et ceux-ci, lorsqu'ils ne sont pas plus carburés, ont évidemment une beaucoup plus grande homogénéité.

La double série de ces essais à la traction, faits sur les mêmes aciers Bessemer et Martin, préparés en échantillons rectangulaires ou ronds, donnent peut-être une première constatation pratique des avantages que doit présenter la forme ronde sous le rapport de la meilleure répartition de la charge.

Voici les nombres comparatifs pour la moyenne de toutes les expériences :

	Fers rectangulaires.	Ronds.
Coefficient d'élasticité . . .	$22.25 \times 10^9$	$22.33 \times 10^9$
Limite d'élasticité . . . .	26.10	27.53
Charge de rupture. . . .	62.93	63.33

Les différences sont sans doute trop faibles pour conclure d'une manière absolue, mais elles sont toutes trois de même sens, et, en ce qui concerne la limite d'élasticité, le rapport s'élève même à 1.05. En ce qui concerne l'acier Bessemer, toutes les limites d'élasticité sont plus grandes pour les fers à section circulaire.

La fonte de moulage au coke s'est trouvée notablement inférieure à celle au bois, quant à la charge de rupture, et en la fondant avec 10 ou 20 % d'acier, on obtient un produit particulier dont le coefficient d'élasticité se trouve très peu modifié, mais dont le coefficient de rupture augmente, pour les barreaux rectangulaires comme pour les barreaux ronds, dans la proportion de 1 à 1,22.

*Coefficients de rupture.*

	Section rectangulaire.	Ronde.
Fonte au coke . . . . .	21.30	20.87
Fonte fondu avec 0.1 d'acier . . .	25.40	23.90
Fonte fondu avec 0.2 d'acier . . .	26.90	27.00

Ce fait n'avait pas encore été mis en évidence d'une manière aussi précise; sa constatation permettra, dans bien des cas, d'obtenir économiquement des pièces de deuxième fusion, de meilleure qualité.

Les expériences instituées pour reconnaître l'homogénéité de la matière, méritent de nous arrêter un instant, parce qu'elles jettent quelque jour sur certains faits relatifs à la période d'élasticité imparfaite, encore très peu étudiée.

Les barres à section rectangulaire ou circulaire avaient 4.50 de longueur; cette longueur était divisée par 18 traits transversaux, à 25 centimètres de distance l'un de l'autre. L'expérience a consisté à rompre ces barres et à mesurer tout à la fois l'allongement de chacun des tronçons et la section en leur milieu; nous ne nous occuperons que de la première de ces déterminations.

Il n'est pas douteux que, pour toute la période élastique, les allongements totaux étant proportionnels à la longueur totale, l'effet est identique dans chacune des parties, mais nous ne savions pas aussi nettement ce qui se passe à cet égard au delà de la limite d'élasticité. C'est en cela surtout que les expériences de M. Bauschinger sont intéressantes : il suffirait, en effet, que les allongements fussent restés proportionnels, en dehors de la zone de rupture, pour en pouvoir conclure que la période élastique s'étend, pour la partie homogène de la barre, bien au delà des limites ordinairement admises. Pour rechercher si cette circonstance remarquable se serait produite, il convient toutefois

d'éliminer les deux zones extrêmes qui étaient renforcées dans les attaches, et dont l'homogénéité avait été manifestement altérée par le travail de la préparation de ces renforcements.

C'est dans une barre d'acier Bessemer, de dureté n° 3, pour laquelle la cassure s'est produite dans le premier intervalle et sous une charge de 86 kilogrammes par millimètre carré, que la vérification est pour ainsi dire complète, l'allongement de chacune des zones restant compris entre 0.013 et 0.014 de leur longueur primitive. Il en est encore de même pour une tige cylindrique d'acier Martin n° 2, qui s'est rompue dans l'avant-dernière zone sous une charge de 56 kilogrammes par millimètre carré, et qui a permis de constater que, dans toutes les autres zones, l'allongement proportionnel était compris entre 0.005 et 0.006.

Nous citerons encore une autre barre ronde d'acier Martin n° 3, qui a résisté jusqu'à 82<sup>1</sup>.70 par millimètre carré, et pour laquelle les allongements partiels sont restés compris entre 0.032 et 0.037, et une autre barre rectangulaire du même métal (rupture à 66<sup>1</sup>.40), pour laquelle les allongements extrêmes sont 0.008 et 0.015.

Cette égalité dans l'allongement des diverses parties devait être plus difficile à rencontrer dans les métaux plus mous, et cependant voici encore une barre d'acier Bessemer n° 6 (rupture à 50.2) qui, en dehors de la zone de rupture et de la zone voisine, n'a varié dans ses allongements partiels que de 0.102 à 0.126.

Aucune des quatre barres de fer essayées dans les mêmes conditions n'a présenté les mêmes caractères d'homogénéité, et nous sommes ainsi en droit de dire que les fers fondus sont, sous ce rapport, bien préférables aux fers puddlés.

Il y a lieu de faire remarquer, d'ailleurs, que les trois barres les plus homogènes appartiennent précisément aux mêmes sortes qui ont fourni les limites d'élasticité les plus élevées (Bessemer n° 3, 45.80 et 46.20; Martin n° 2, 36.06 et 36.00; Martin n° 3, 28.00 et 31.00). On est certainement en droit de conclure de ces rapprochements que les procédés de fabrication ont moins d'influence sur le coefficient d'élasticité que sur la limite de cette élasticité, et que la métallurgie moderne doit surtout, à ce dernier point de vue, rechercher les procédés qui permettent d'obtenir la plus parfaite homogénéité.

*Résistance des tôles.*

L'essai des tôles fortes pour chaudières ne comporte que les tôles Bessemer et les tôles Martin, des n°s 4, 5 et 6.

Dans le sens du laminage, le coefficient d'élasticité a la même valeur dans les deux procédés, 21.87, et la moyenne dans le sens perpendiculaire est aussi exactement la même : le coefficient d'élasticité étant la représentation la plus certaine des qualités intrinsèques du métal, on devait s'attendre à ce qu'il en fût ainsi pour les tôles de métal fondu, mais on ne s'explique pas aussi bien les différences relatives à la limite d'élasticité et à la rupture. Les écarts ne sont pas très grands en ce qui concerne les deux modes de fabrication, mais la charge qui correspond à la limite d'élasticité passe de 15.93, pour le sens du laminage, à 20.18 dans le sens perpendiculaire. Une telle différence ne saurait être fortuite, et il semblerait ainsi que l'étirage a été poussé trop loin, de façon à fatiguer la matière, qui aurait conservé ses propriétés primitives dans le sens perpendiculaire. Au reste, le même écart ne se fait pas sentir pour la rupture, la charge correspondante ne variant, dans la moyenne, que de 53<sup>k</sup>.45 à 53<sup>k</sup>.95 par millimètre carré; le chiffre moyen, pour les barres de même qualité, était sensiblement plus élevé, 58.15.

La série des expériences de compression sur les fers et aciers de Reschitz se distingue, par la précision qui y a été apportée, de tous les autres essais de même nature. Grâce à l'emploi très bien combiné de la méthode des miroirs, M. le professeur Bauschinger a véritablement déterminé par l'observation la limite d'élasticité des matériaux soumis à son examen, bien qu'il opérât seulement sur des échantillons de 5 centimètres de hauteur. Jamais non plus on n'avait déduit d'une manière aussi certaine leur coefficient d'élasticité à la compression. Pour les aciers Bessemer et Martin, ce coefficient est 22.51, tandis qu'il ne s'élevait qu'à 22.29 à la traction; les chiffres étant presque identiques, il faut en conclure que l'expérience a définitivement reconnu cette égalité, dans la limite des déformations élastiques. Il semblerait que, sous ce rapport, il n'y eût pas à distinguer entre les échantillons ronds et les échantillons carrés, et cependant la section circulaire paraît plus avantageuse, puisqu'elle correspond

au coefficient 22.65, en comparaison de celui de 22.38 pour les autres.

La moyenne pour les fers (les expériences sont beaucoup moins nombreuses) est seulement 21.56.

Les diagrammes indiquent la limite d'élasticité avec une certitude beaucoup plus grande qu'on n'aurait pu le supposer. La moyenne de cette limite conduit à la charge 24<sup>k</sup>.11 par millimètre carré, pour les pièces à section carrée, et à celle de 30<sup>k</sup>.68 pour les pièces à section circulaire; mais il y a lieu de faire remarquer qu'un chiffre tout à fait anormal, qui se rapporte à l'acier Bessemer n° 3, fausse sans doute cette moyenne. Si, pour ce motif, on écarte les deux nombres relatifs à cette marque, on trouve encore, pour chiffres correspondants, 23.08 et 28.39, et l'on fera remarquer, d'ailleurs, que sur 11 doubles déterminations, il y en a 9 pour lesquelles l'avantage s'est largement manifesté en faveur de la section circulaire.

Il en est tout autrement pour les fers : 10.27 et 9.94, et cet énorme amoindrissement de la limite d'élasticité à la compression s'explique surabondamment par la constitution fibreuse du métal. C'est à cet égard qu'il serait intéressant de pouvoir comparer l'effet produit par une action transversale.

Les lingots d'acier Bessemer et Martin ont été aussi essayés à l'état brut, et sous leur forme cylindrique. En cet état, le coefficient d'élasticité se trouvait réduit à 20.85, au lieu de 22.65, pour les mêmes aciers martelés, et la charge par millimètre carré, à la limite de l'élasticité, à 17<sup>k</sup>.26, au lieu de 28.39. On a ainsi une évaluation précieuse de l'état d'infériorité de la matière brute sur les produits livrés à l'industrie. Le laminage et le martelage augmentent de plus de moitié la charge qui correspond à la limite de l'élasticité.

Un autre sujet d'étonnement se rencontre, dans ce beau travail, en ce qui concerne la charge de rupture. Pour la déterminer avec précision, M. Bauschinger a pratiqué dans chaque échantillon les entailles nécessaires pour réduire la partie résistance à une hauteur de 4 centimètres, et à une section transversale de 4 centimètres carrés. Le phénomène définitif d'affaissement est alors nettement caractérisé par l'abaissement de la pression dans l'intérieur du cylindre de la presse hydraulique, et, dans le plus grand nombre des cas, par un glissement en sifflet de l'une des

extrémités de la pièce par rapport à l'autre. On trouve, pour cette charge limite, des chiffres qui varient de 100 à 200 kilogrammes par millimètre, et dont la moyenne est respectivement de 157 et de 152<sup>e</sup> pour les pièces carrées et pour les pièces rondes. Pour les lingots bruts d'acier, il n'y a pas de différence sensible, mais, en ce qui concerne les fers, le maximum ne dépasse pas 100 kilogrammes.

Les essais de flexion, lorsque l'on possède des échantillons d'une longueur suffisante, ne demandent aucune autre installation que deux points d'appui, et une lunette employée à mesurer les flèches; aussi ont-elles été les plus nombreuses jusqu'ici parmi celles qui nous ont fait connaître les propriétés des matériaux. Il est vrai qu'elles ne peuvent fournir qu'une valeur moyenne des divers coefficients de traction et de compression; mais les résultats obtenus par M. Bauschinger sur des matériaux aussi bien définis que ceux de Reschitzka, vont nous apprendre, d'une façon très nette, ce qu'il faut admettre quant à cette comparaison.

Les aciers et les fers, destinés aux essais de flexion avaient 1.20 de longueur, 140 × 40 de section, ou un diamètre de 133 pour les uns; 160 × 30 ou un diamètre de 170 pour les autres. Les pièces de fonte étaient plus longues, 1.50, et leurs dimensions transversales s'élevaient à 200 × 100 ou à un diamètre de 200 millimètres.

Il est utile d'examiner si la forme des barres a une influence sur les résultats de l'observation et pour cela il suffira d'inscrire dans le tableau suivant les chiffres relatifs aux deux dispositions de la section transversale.

DÉSIGNATION.	ACIER.	FER.	FONTE.	FONTE ET ACIER.
COEFFICIENT D'ÉLASTICITÉ.				
Section rectangulaire...	20.63	20.41	11.65	14.01
Section circulaire.....	22.01	20.55	13.45	14.27
Moyenne.....	21.32	20.48	12.56	14.14
LIMITÉ D'ÉLASTICITÉ.				
Section rectangulaire...	27.18	12.00	>	n
Section circulaire.....	34.63	12.87	n	n
Moyenne.....	30.91	12.44	n	n
CHARGE DE RUPTURE.				
Section rectangulaire...	89.80	66.91	32.74	42.58
Section circulaire.....	94.66	70.25	36.80	46.30
Moyenne.....	92.23	68.38	34.77	44.44

Les coefficients relatifs à la section ronde sont partout plus élevés ; on ne peut cependant attribuer ici cette différence à une meilleure répartition des efforts et l'on se trouve conduit à admettre que le forgeage cylindrique, qui rapproche les molécules en tous sens, est plus favorable à l'amélioration des propriétés mécaniques de la matière, que le forgeage à plat, successivement opéré dans deux sens rectangulaires. Il est vrai qu'il faudrait chercher alors une autre cause de supériorité en faveur de la section circulaire, pour les pièces fondues, et qu'on ne la trouverait que dans l'hypothèse d'un meilleur groupement des molécules pendant la solidification. Quoi qu'il en soit, le fait en lui-même ne saurait laisser aucun doute après les résultats que nous venons d'indiquer.

Comment les coefficients, déterminés par la flexion, concordent-ils avec ceux qui ont été obtenus d'expériences plus simples, à la traction et à la compression ? Voici les chiffres qui répondent à cette question pour les aciers.

DÉSIGNATION.	CŒFFICIENT D'ÉLASTICITÉ.	LIMITE D'ÉLASTICITÉ.	CHARGE DE RUPTURE.
Déterminés par traction...	22.29	26.84	63.14
Id. par compression.	22.51	25.73	154.50
Id. par flexion....	24.34	30.91	92.23

Les différences sont très peu sensibles pour les deux premières colonnes, c'est-à-dire pour tout ce qui se rapporte à la période élastique; pour la rupture les chiffres sont variables; le métal résistant plus longtemps à la compression qu'à la traction, la rupture par flexion ne devait se produire que dans une condition intermédiaire.

Nous établirons encore le même rapprochement pour les autres matériaux expérimentés.

DÉSIGNATION.	CŒFFICIENT D'ÉLASTICITÉ.	LIMITE D'ÉLASTICITÉ.	CHARGE DE RUPTURE.
FERS.			
Déterminés par traction...	20.89	8.97	42.48
Id. par compression.	21.57	10.10	90.50
Id. par flexion.....	21.32	12.44	68.58
FONTES.			
Déterminés par traction...	11.86	n	22.29
Id. par compression.	11.30	n	81.50
Id. par flexion.....	12.36	n	34.77
MÉLANGES DE FONTE ET ACIER.			
Déterminés par traction...	13.23	n	25.80
Id. par compression.	13.15	n	93.42
Id. par flexion.....	14.14	n	44.44

Ce tableau que l'on peut considérer comme le résumé des expériences de Reschitzka montre une petite augmentation dans les coefficients de la période élastique lorsqu'on les détermine par la flexion; mais il n'y a vraiment de différence essentielle qu'en ce qui concerne la limite d'élasticité, et sous ce rapport les expé-

riences de flexion sont assurément les moins probantes, parce que cette limite n'est atteinte que successivement pour les différentes fibres, et ne se trouve par conséquent que partiellement mise en évidence au moment où l'augmentation de la flèche fait que la limite d'élasticité se trouve dépassée pour un certain nombre de nouvelles fibres longitudinales.

Quant à la rupture par flexion elle est toujours comprise entre les deux limites déterminées par traction et par compression.

Nous laisserions de côté une partie trop importante du travail qui nous occupe, si nous ne cherchions à faire ressortir les conclusions à tirer des expériences de torsion dont les détails sont indiqués dans les tableaux n°s 122 à 147, et qui sont résumées dans le tableau 148.

Elles ont porté sur des aciers et des fers à section carrée ou circulaire, et en voici les principaux résultats :

DÉSIGNATION.	COEFFICIENT DE TORSION.	LIMITE D'ÉLASTICITÉ.	CHARGE DE RUPTURE.
Aciers carrés.....	81.25	16.63	57.34
Aciers ronds.....	95.57	17.05	51.73
Moyenne.....	88.40	16.84	54.54
Fers carrés.....	76.45	6.67	43.55
Fers ronds.....	88.10	7.00	35.83
Moyenne.....	81.17	6.83	39.69

On sait que le coefficient de torsion, en vue de la théorie généralement adoptée, n'est autre chose qu'un coefficient de glissement transversal, que l'on reconnaît constant jusqu'à une certaine limite, qui est celle de l'élasticité.

Ce coefficient ne dépend qu'indirectement du coefficient d'élasticité de la matière, et le tableau précédent montre qu'il est un peu plus petit pour le fer que pour l'acier; la différence est tout à fait du même ordre que celle qui s'observe entre les coefficients d'élasticité.

Si l'on trouve que ce coefficient est notablement plus grand pour les sections rondes que pour les sections carrées, cela tient manifestement à ce que la théorie n'est vraiment applicable

qu'aux sections circulaires, qui sont de beaucoup préférables pour résister à la torsion.

Quant à la limite d'élasticité, elle est dans tous les cas moitié moindre pour les fers que pour les aciers, ce qui rappelle à peu près la même proportion que dans les autres modes de déformation.

Nous ne possédons pas encore assez de données précises sur la résistance au cisaillement pour qu'il nous paraisse utile de discuter sommairement les indications que donne le travail de M. Bauschinger à ce sujet, mais on voit par ce qui précède que ce travail est tout un traité de résistance des matériaux, qui nous permet dès aujourd'hui de mieux connaître les propriétés comparatives du fer fondu et du fer puddlé.

Peut-être l'avenir démontrera-t-il que c'est surtout sous forme de fer, non susceptible de se tremper, que les procédés Bessemer et Martin rendront les plus grands services à l'art de la construction.

Les deux séries d'expériences dont il vient d'être rendu compte portent avec elles une confirmation bien précieuse par la concordance de leurs résultats.

Voilà deux fabrications complètement indépendantes, agissant avec des minerais tout à fait distincts, et il arrive que les produits hongrois, traités sous la direction de M. Swing, directeur des mines de fer de la Compagnie Impériale et Royale des chemins de fer de l'État, avec les soins qui ont été si justement reconnus par l'attribution d'un grand prix à l'Exposition universelle de 1878, se trouvent pour ainsi dire identiques aux produits fabriqués par les mêmes procédés Bessemer et Martin, avec les minerais les plus estimés de la Suède. En Hongrie le coefficient d'élasticité des fers fondues est 22.29; celui des fers suédois, 21.89.

L'identité est absolue pour la charge de rupture 63.13 et 63.14; mais il faut ajouter que la différence est très notable entre les limites d'élasticité 26.81 et 21.28. La limite d'élasticité se traduit toujours par un coefficient intermédiaire, dont les éléments de détermination manquent un peu de précision. M. Bauschinger a pris soin de faire connaître dans son travail tous ces éléments, et il serait certainement impossible de prendre des précautions mieux étudiées pour arriver à un résultat exact.

Nous ne connaissons pas aussi bien les détails des expériences

suédoises, et les explications qui accompagnent les tableaux se bornent à cette seule indication de M. Dellwik, qui n'est peut-être pas suffisante pour expliquer la différence, mais qui touche à l'une des questions les plus intéressantes des propriétés des matériaux. « Les épreuves de traction ont été exécutées par les procédés ordinaires, à cette seule exception près, que la limite d'élasticité n'a pas été déterminée, comme on le fait généralement, par un retour graduel à zéro depuis les charges supérieures, mais par la différence entre les charges successives, procédé qui a pu être exécuté avec une exactitude toute spéciale, grâce à l'emploi des instruments signalés ci-dessus, tandis que, suivant mon expérience, la limite d'élasticité de la barrette est augmentée, pendant qu'elle se trouve dans la machine, par la répétition continue du chargement et du déchargement. Cette circonstance, déjà signalée par M. K. Styffe, directeur de l'École polytechnique de Stockholm (voir son ouvrage : *The elasticity, extensibility and tensile strength of Iron and Steel.*) a aussi pour résultat que la limite d'élasticité est sensiblement inférieure à celle donnée par la méthode généralement suivie pour sa détermination. »

Il est très vrai que dans la plupart des essais de M. Bauschinger, la pièce a été déchargée trois ou quatre fois, avant qu'elle ait été amenée à la limite d'élasticité, et nous avons nous-même fait voir (comptes rendus de l'Académie des Sciences, 13 novembre 1871), par des essais de flexion sur des rails entiers, que cette limite pouvait, dans certaines circonstances, s'élever de  $29^{\circ},27 \times 10^6$  à  $49^{\circ},733 \times 10^6$ .

Voilà donc un point bien établi et dont il faudra tenir compte avec beaucoup d'attention dans les expériences ultérieures.

D'un autre côté, combien il est regrettable que la différence de longueur entre les échantillons soumis aux épreuves de traction, soit un obstacle à toute comparaison à cet égard. La longueur de 20 centimètres est adoptée en France par l'administration de la marine et par un certain nombre de Compagnies de chemins de fer. Les expériences sur les fers de Reschitzza auraient pour nous une valeur infinitement plus grande, si elles ne s'étaient en quelque sorte singularisées par le choix d'une longueur de 23 centimètres.

## V

OBSERVATIONS SUR L'EMPLOI COMPARATIF DU FER ET DE L'ACIER  
DANS LES CONSTRUCTIONS.

L'importance des recherches dont nous avons cherché à rendre compte dans les pages précédentes montre combien l'attention des producteurs de fers a été appelée, dans ces dernières années, sur les procédés Bessemer et Martin. En 1862, à Scheffield, le métal produit par le premier de ces procédés était désigné sous le nom de métal homogène, et l'on a pu croire un instant que cette appellation était destinée à prendre place entre les anciennes dénominations de fer et d'acier. Cependant elle n'a pas prévalu dans l'industrie, et l'on continue à se servir pour les produits analogues au métal homogène de désignations qui sont souvent en contradiction avec leurs propriétés les plus essentielles.

M. l'inspecteur général Gruner a publié dans le *Bulletin de la Société d'encouragement*, pour 1879 (page 363), une étude générale sur la métallurgie telle qu'elle était représentée à l'Exposition de 1878, et sa haute compétence donne une grande autorité aux observations suivantes, par lesquelles il a cru devoir protester contre ces anomalies :

« Il m'est réellement impossible, dit-il, d'adopter la nomenclature nouvelle des forges et de la Marine, d'après laquelle l'ancien acier de forge ne serait plus de l'acier proprement dit, tandis que le fer doux deviendrait de l'acier par le seul fait de sa fusion.

« Je maintiens donc la nomenclature adoptée par le Comité international de Philadelphie en 1876, et distinguerai à l'avenir aussi bien le fer doux fondu de l'acier fondu, que le fer doux soudé de l'acier soudé. Le fer qui se trempe et se forge est toujours pour moi de l'acier, qu'il soit d'ailleurs fondu ou simplement soudé; tandis que le fer qui ne se trempe pas doit conser-

ver le nom de fer doux, qu'il ait, lui aussi, subi la fusion ou non. »

Cette citation était nécessaire pour expliquer comment les produits que nous venons d'examiner, et ceux sur lesquels nous aurons encore à présenter quelques observations, d'après la nature de leurs propriétés et surtout d'après l'action restreinte que peut y déterminer la trempe, doivent en définitive être rangés parmi les fers.

C'est ainsi qu'il faut entendre le beau travail devenu classique publié en seconde édition (1875), par M. Barba, ingénieur des constructions navales sous le titre : *Étude sur l'emploi de l'acier dans les constructions*. On y trouve non seulement des règles fort intéressantes pour le travail des pièces en acier Bessemer, mais aussi une table des diverses sortes d'acier avec l'indication des marques qui leur sont données dans les usines du Creuzot, établissement auquel M. Barba s'est trouvé depuis lors attaché, à la suite des nombreuses expériences qu'il avait faites pour le Ministère de la marine à Lorient.

Nous reproduirons ici cette table qui complète, à certains points de vue, les indications déjà données :

*L'extrait d'une classification des actes du Creuzol.*

Les différents chiffres de ce tableau suffisent pour établir que l'on peut se procurer des aciers non trempés résistant à la traction jusqu'à 80 kilogrammes par millimètre carré; ces mêmes aciers après avoir été trempés peuvent résister jusqu'à 120 kilogrammes, mais ce ne sont pas ces sortes d'acier qui doivent entrer dans la confection des navires ou des chaudières à vapeur. Il paraît, au contraire, que tous les efforts doivent tendre, en ce qui concerne ces genres de construction, à rechercher comme condition principale le plus petit écart possible résultant du fait de la trempe et un très grand allongement de rupture.

A ce dernier point de vue, il faut remarquer que les chiffres d'allongement inscrits dans le tableau se rapportent à des barrettes de 10 centimètres de longueur, et qu'ils se trouveraient réduits dans une grande proportion, moindre que moitié cependant, pour des échantillons de 20 centimètres.

M. Barba a conclu de ses nombreuses expériences qu'il y avait un sérieux avantage à employer, avec les précautions de fabrication convenables, l'acier doux, pour résister au choc, toutes les fois que l'on ne rencontrera pas de difficultés de fabrication ou de mise en œuvre, et pour préciser davantage cette conclusion, il ajoute un peu plus loin :

« Les aciers doux, résistant à la rupture à 45 kilogrammes, sont faciles à travailler; entre les mains d'ouvriers exercés, ils ne présentent pas de dangers de rupture; c'est dans cette classe que doivent être choisis les matériaux qui ont à subir des travaux considérables. Les aciers plus carburés doivent être réservés pour des parties un peu moins façonnées. »

La commission du Lloyd anglais, d'autre part, a formulé la règle suivante :

« On peut autoriser l'emploi du métal fondu dans la construction des navires avec une réduction de 20 pour 100 de l'épaisseur de la tôle, comparativement à l'épaisseur employée précédemment pour la tôle de fer puddlé, à la condition que la tôle de métal fondu supporte les épreuves suivantes :

« 1° Les bandes découpées en long ou en travers doivent, aux essais de traction, donner lieu à une charge de rupture comprise entre 43,2 et 49,6 kilogrammes par millimètre carré, et supporter

dans ces conditions un allongement de 20 pour 100 sur une longueur de 200 millimètres;

« 2° Ces bandes chauffées au rouge cerise modéré et trempées dans de l'eau à 28 degrés centigrades, devront supporter un ployage autour d'une courbe dont le diamètre ne dépassera pas le triple de l'épaisseur de la tôle. »

On voit combien ces conclusions se rapprochent de celles de M. Barba, qui n'employerait pas sans défiance des tôles résistant jusqu'à 30 kilogrammes, et nous allons constater que les publications du bureau *Veritas*, quoiqu'un peu moins restrictives à certains égards, témoignent encore des mêmes préoccupations.

Les rapports sur les essais et expériences sur l'acier doux employé dans la construction des navires, publiés par le bureau *Veritas* en 1878 et 1879, sont plus particulièrement basés sur certains essais exécutés, sous son contrôle, sur les aciers doux de Seraing et sur ceux de Motala.

Les tableaux qui accompagnent le rapport de l'année 1878 sont assez complets pour qu'il soit utile d'en indiquer les résultats principaux en ce qui concerne les expériences à la traction, mais nous ne sommes pas parvenus cependant à en déduire les valeurs des coefficients d'élasticité, qui ne sont indiqués nulle part. Les expériences ont été faites sur des barrettes de 203,2 millimètres de longueur (8 pouces anglais), de sorte que les résultats sont très approximativement comparables à ceux pour lesquels on s'en est tenu à la longueur plus habituelle de 20 centimètres. Les charges de rupture pour les échantillons recuits ont toutes été comprises entre 41 et 56 kilogrammes, moyenne : 46,323 par millimètre carré; la limite d'élasticité entre 29 et 42 kilogrammes, moyenne : 32,83; l'allongement de rupture a varié de 17 à 25 pour 100, moyenne : 22. On voit qu'il s'agit ici de tôles exclusivement douces, propres à la construction des navires, et nous pensons que ces mêmes qualités sont celles qui doivent être employées à la construction des chaudières à vapeur.

Dans ces expériences, l'influence favorable du recuit s'est manifestée d'une façon très probante.

Pour une même marque, les tôles recuites n'ont varié entre elles que pour 4 kil. 2 à la rupture, et 5 pour 100 à l'allongement;

les écarts correspondants se sont élevés pour les tôles non recuites à 7 kil. et à 6.3 pour 100. L'effet du recuit est encore plus frappant pour une autre marque, puisque ce recuit a réduit à 2 kil. 2 et à 0.9 pour 100, les écarts de 13 kil. 8 et de 8.4 pour 100 présentés par les mêmes tôles non recuites.

Aussi le bureau *Veritas* voudrait-il exiger que toutes les tôles d'acier employées dans la construction des navires aient été recuites avant de quitter l'usine du fabricant, ce qui a déjà lieu en Angleterre pour toutes les tôles en acier doux. Il exigera plus encore, c'est que : « les tôles, cornières et fers profilés en acier portent l'empreinte lisible d'une marque spéciale du fabricant comme garantie de ce que l'acier satisfait aux conditions exigées. Cette marque sera placée de manière qu'elle reste visible après que la tôle, cornière ou autre pièce aura été rivée en place. »

Quant à la qualité propre du métal, l'acier devrait avoir une résistance à la rupture comprise entre 42 et 50 kilogrammes avec un allongement minimum de 20 pour 100 sur une longueur de 20 centimètres. Ces chiffres se rapprochent beaucoup de ceux du Lloyd, qui se maintient cependant entre deux limites un peu plus étroites, comprenant d'ailleurs la résistance de 45 kilogrammes, considérée par M. Barba comme convenable sous le rapport de l'ajustage des pièces.

Dans l'emploi de ces sortes d'acier, on cherche sans doute une augmentation de résistance; mais il semble que la préoccupation dominante soit celle d'un allongement suffisant, sous la condition de la corroborer encore par l'impossibilité d'une trempe vraiment efficace :

« Une bande de 5 centimètres de largeur, découpée dans des tôles, cornières ou profils à boudin, étant refroidie dans de l'eau à une température de 28 degrés, après avoir été chauffée au rouge sombre sera repliée sur elle-même jusqu'à ce que l'ouverture près du sommet soit égale à trois fois l'épaisseur de l'échantillon. »

Ce que l'on exige, d'après cette formule, ce sont vraiment des qualités non susceptibles de se tremper et présentant à l'état de recuit la faculté d'un grand allongement.

Les autres expériences citées par le bureau *Veritas* sont relatives au choc; nous nous abstiendrons de les décrire, mais nous

reproduirons le tableau de la composition de ces différents aciers pour 100 parties :

DÉSIGNATION.	I.	II.	III.	IV.
Carbone combiné..	0.08	0.10	0.15	0.12
Silicium.....	0.02	0.01	0.01	0.04
Soufre.....	0.05	0.05	0.06	0.07
Phosphore.....	0.06	0.04	0.04	0.08
Manganèse.....	0.43	0.30	0.30	0.15

Le carbone combiné n'a jamais dépassé quinze dix-millièmes, et la teneur en manganèse ne s'est jamais abaissée au-dessous de ce même chiffre.

En ce qui concerne le rivetage, nous dirons seulement que l'emploi des rivets en acier est généralement admis pour les chaudières en acier; mais il est peut-être bon de citer encore, relativement à l'influence du recuit sur le métal, préalablement percé au poinçon, une curieuse observation qui rappelle quelques-unes de celles qui sont décrites par M. Barba.

On a percé un trou de 24 millimètres au moyen d'un poinçon dans une tôle ayant 7 millimètres d'épaisseur; la pièce emportée par le poinçon a été de nouveau percée avec un outil semblable de 20 millimètres de diamètre, laissant une bande annulaire de 2 millimètres de largeur. Cette dernière pièce de 20 millimètres a été, à son tour, percée au moyen d'un poinçon ayant 14 millimètres de diamètre, laissant une bande annulaire de 3 millimètres de largeur.

Il a été fait un grand nombre de ces bagues, quelques-unes ont été recuites et d'autres ont été laissées dans leur état de détérioration. On les a aplatis dans un étau; celles qui n'avaient pas été recuites se sont rompues lorsque leur diamètre était réduit de 2 à 3 millimètres, tandis que les barres recuites ont pu être aplatis sans montrer la moindre fracture.

Comme conclusion pratique, après avoir fait remarquer que la limite d'élasticité des aciers doux de Seraing varie de 29 à 36 kilogrammes, celle des aciers de Motala de 29 à 32 kilogrammes, celle de plusieurs aciers français de 23 à 24 kilogrammes, ce qui porterait la moyenne générale à environ 30 kilogrammes, alors

que la même limite pour le fer ne dépasse pas la moitié de ce chiffre, le bureau *Veritas* se trouve conduit à se demander la réduction qu'il devra tolérer dans les dimensions du métal lorsque l'acier doux sera substitué au fer.

En faisant la part des coefficients de surépaisseur et celle de l'oxydation (même dans le cas où la présence du manganèse rendrait l'altération plus prompte), il arrive à admettre les réductions suivantes, variables suivant le mode d'emploi des pièces qui entrent dans la construction des navires.

Sur les tôles de revêtement, carreaux, gabords, cloisons étanches, gouttières, rivures d'hiloire, diagonales et carlingues, une réduction de 18 à 25 pour 100.

Sur les varangues, fers à boudin et cornières, une réduction de 10 à 15 pour 100 sur l'épaisseur. Ces réductions ne seront toutefois accordées que sous les conditions de marque et de limite de résistance qui ont été indiquées ci-dessus.

Il serait vraiment désirable que les constructeurs de chaudières à vapeur pussent être guidés par des règles analogues dans l'établissement de leurs générateurs; tout au moins peut-on affirmer qu'ils doivent recuire et essayer toutes leurs tôles d'acier et ne pas dépasser, en ce qui concerne le choix de ces tôles, la limite de 45 kilogrammes à la rupture, par millimètre carré, avec allongement de 20 pour 100.

Nous compléterons ces renseignements en indiquant que le dernier numéro du *Bulletin de l'institution des ingénieurs mécaniciens de Londres*, a publié sous le titre de : *Experiments referring to the use of Iron and Steel in high-pressure boilers*, un mémoire fort intéressant de MM. David Greig et Max Eyth de Leeds, sur cette importante question du meilleur mode de construction des chaudières à vapeur en acier doux.

Voici l'une des principales conclusions de ce travail :

« Il n'est pas douteux que les fabricants d'acier sont maintenant en état de produire un métal aussi homogène et aussi malléable que le meilleur fer. L'absence de tout feuilletage le rend à cet égard très supérieur au fer dans toute construction, analogue à celles des chaudières et dans laquelle les tôles seraient nécessairement exposées à des efforts dans tous les sens. Mais ce résultat a été obtenu en réduisant la résistance du métal au minimum, ce qui restreint matériellement sa supériorité. La résis-

tance à la traction et au cisaillement des matériaux, fournie pour ces essais par les producteurs d'acier les plus habiles, et considérés par eux comme préférables pour cet usage, n'a présenté, d'après nos expériences, qu'une supériorité de 16 pour 100 par rapport au fer soumis aux mêmes épreuves; son manque de dureté (qu'il ne faut pas confondre avec la résistance à la traction) constitue une cause sérieuse d'infériorité dans la construction des chaudières. Ce que l'industrie demanderait maintenant, ce serait un retour vers un métal plus dur, de plus grande résistance, mais sans rien perdre de l'homogénéité, qui n'est obtenue aujourd'hui qu'aux dépens de la dureté. On peut être assuré qu'une connaissance plus parfaite de la fabrication de l'acier, dans laquelle de si nombreuses difficultés ont été déjà surmontées, permettra de satisfaire à ce *desideratum.* »

Nous nous permettrons, en terminant, de recommander aux constructeurs de chaudières à vapeur de ne sacrifier, en aucun cas, la faculté d'allongement du métal, dans l'espérance de lui faire supporter un plus grand effort de traction.

## NOTE

SUR

# LE LABORATOIRE DE CHIMIE

DE L'INSTITUT POLYTECHNIQUE DE DELFT (Hollande)

PAR M. LE GÉNÉRAL MORIN.

Les opérations qui s'exécutent dans les laboratoires de chimie les plus vastes, et en apparence le mieux organisés, présentent si souvent des inconvénients et parfois des dangers si grands, dont plus d'un savant a été victime, que je crois utile de faire connaître, avec quelques détails, les dispositions qui ont été adoptées avec succès pour le bel établissement de l'Institut polytechnique de Delft, sous la direction de M. le professeur Oudemans, et exécutées avec talent par M. l'architecte Morre.

Cette description, que les renseignements fournis par M. Oudemans me permettent de donner d'une manière assez complète, sera de plus une occasion de mettre de nouveau en évidence l'avantage que présentent des dispositions d'ensemble, qui coordonnent et régularisent les effets de ventilation qu'il convient de rechercher dans une vaste agglomération de locaux, qui doivent être assainis tantôt à la fois, tantôt séparément.

Le laboratoire de l'Institut polytechnique de Delft est destiné à recevoir quatre-vingt-dix à cent élèves, exécutant simultanément les diverses manipulations chimiques, que comportent leur degré d'instruction et la carrière à laquelle ils se destinent. Il est divisé en plusieurs parties distinctes, qui correspondent à ces besoins divers et dont quelques-unes forment des laboratoires spéciaux.

Nous allons en indiquer sommairement les dispositions d'ensemble.

Un laboratoire principal A, A', A'', destiné à recevoir cinquante élèves dont les uns, appelés à devenir ingénieurs civils, n'ont besoin que de savoir exécuter les manipulations d'analyses qualitatives, et les autres, qui doivent pousser leurs études plus loin, sont encore à leur première année, a environ 32 mètres de longueur sur 13 mètres de largeur, soit 416 mètres de superficie.

Il y a quatorze fenêtres et une grande porte en façade, ce qui a permis d'établir devant chaque trumeau un petit fourneau *q, q, q*, formant étuve, où un élève isolé peut procéder aux opérations qu'il doit exécuter.

Chacune de ces petites étuves *q, q, q*, a, dans l'épaisseur du trumeau, sa cheminée d'évacuation, dont le tirage est au besoin activé par un bec de gaz. Cette cheminée est d'ailleurs disposée de manière qu'aucune matière qui en tomberait ne puisse pénétrer dans les appareils.

Cette disposition de fourneaux isolés a été empruntée à certains laboratoires d'Allemagne, mais elle présente des inconvénients qui ont été reconnus à Delft et dont on parlera plus loin.

La salle est protégée dans sa longueur par une cloison qui la sépare de deux laboratoires spéciaux pour les analyses élémentaires. Contre cette cloison sont adossés quatre grands fourneaux à étuves *p, p, p, p*, et deux autres fourneaux semblables sont disposés contre le mur de fond de ces laboratoires A', A''.

Ces six fourneaux présentent ensemble un développement d'étuves d'environ 40 mètres de longueur.

Tous sont ventilés par le dispositif général, dont on parlera plus tard.

Dans trois salles E, E, E, ayant de 50 à 60 mètres carrés de superficie, et consacrées aux analyses quantitatives, sont disposés trois fourneaux à étuves de 3<sup>m</sup>,50 de longueur chacun, et un cabinet pour les balances.

L'une de ces salles renferme une petite machine locomobile, d'un cheval de force, destinée à fournir l'eau nécessaire à l'ensemble de l'établissement, de la force motrice à quelques machines, le vent à une soufflerie, et de la vapeur à une chufferie d'appareils.

Au centre de l'édifice se trouve une grande salle DD, de 180 mètres carrés environ de superficie, recouverte d'une toiture vitrée et traversée par une cheminée d'appel K, de 24 mètres de hauteur sur 1 mètre de diamètre intérieur à la base.

Cette salle D constitue aussi un vaste laboratoire commun, qui peut être utilisé, surtout pour les expériences qui exigent de grands appareils. Elle contient deux tables avec étuves, que l'on peut déplacer, tout en les maintenant, à l'aide de tuyaux de raccordement, en communication avec la grande cheminée.

Deux laboratoires particuliers F et G sont réservés aux professeurs de chimie et de technologie, et chacun contient un fourneau *p p*, dont la ventilation est assurée par le dispositif général.

Enfin deux amphithéâtres, l'un pour le cours de chimie proprement dite, l'autre pour celui de chimie appliquée et de technologie, sont situés à l'extrémité du bâtiment; ils sont également pourvus de fourneaux disposés comme les précédents.

L'on voit par la description générale, que nous venons de donner, du grand établissement destiné à l'enseignement de la chimie à l'Institut polytechnique de Delft, qu'outre les vingt-cinq fourneaux à étuves affectés aux premières études des élèves, il contient quinze grands fourneaux à étuves et peut recevoir dans la salle vitrée, servant de laboratoire commun, deux et même plusieurs tables fixes ou mobiles susceptibles d'être recouvertes par des cages formant étuves.

Pour assurer, dans tous les locaux où sont établis ces fourneaux, un renouvellement régulier de l'air et surtout pour empêcher les gaz et les vapeurs délétères, dangereux pour les expérimentateurs, de se répandre à l'intérieur, on a adopté, et, suivant l'expression bienveillante du savant chimiste hollandais, emprunté au Conservatoire des arts et métiers, l'usage d'une cheminée d'appel unique, au bas de laquelle viennent, de chacun des laboratoires, déboucher des canaux collecteurs, qui aspirent et entraînent les produits gazeux de chacun des fourneaux ou de leurs étuves.

Cette disposition, qui a si complètement réussi pour les amphithéâtres du Conservatoire des arts et métiers, et, en 1869-70, au palais du Corps législatif, a eu le même succès à Delft.

On peut suivre sur la figure 2, planche 81, du plan du sous-sol

les ramifications  $a, a, a, \dots a$  de tous ces canaux collecteurs qui, partant des fourneaux à étuves, marqués  $p, p, p, \dots p$ , sur le plan du rez-de-chaussée, viennent tous aboutir au bas de la cheminée unique d'évacuation K.

Les grandes étuves fixes ou mobiles de la salle vitrée D D, qui constitue à elle seule un grand laboratoire, ont aussi leurs orifices et leurs carreaux d'évacuation, qui les mettent en communication avec la cheminée K, et l'on a déjà dit qu'elles pouvaient être à volonté déplacées et reliées à leurs conduits d'évacuation par des tuyaux de raccordement en tôle, ce qui donne toute facilité pour l'installation des plus grands appareils.

Certaines étuves peuvent aussi, pour des opérations de détail, qui ne donnent pas lieu à des dégagements de produits dangereux, être à volonté mises en communication directe avec l'atmosphère ou avec la grande cheminée.

Tous les conduits ou carreaux d'évacuation sont munis de registres, qui permettent de les isoler de cette cheminée, afin de limiter son action et le tirage, qu'il est nécessaire d'y maintenir pour suffire au service.

L'expérience a montré que le tirage naturel de la cheminée; pour peu qu'il soit favorisé par une différence sensible des températures intérieure et extérieure, peut, dans la plupart des cas, où il n'y a pas beaucoup d'élèves occupés aux manipulations, suffire pour assurer à la ventilation l'énergie nécessaire. Ce n'est que quand les divisions nombreuses des ingénieurs et des technologistes opèrent, qu'on est obligé d'allumer le foyer d'appel quelques heures avant leur arrivée.

Le premier dispositif, que nous avons indiqué au commencement de cette note, celui des petites cheminées indépendantes, particulières à chacun des fourneaux à étuve de la grande salle A A' A'', du laboratoire, imité comme nous l'avons dit de quelques établissements d'Allemagne, n'a pas donné des résultats aussi satisfaisants et aussi réguliers que celui de l'appel général déterminé par la cheminée unique. Il présente dans certains cas l'inconvénient grave de donner lieu à des courants d'air renversés, à des rentrées de fumée ou de gaz.

Il est d'ailleurs facile de se rendre compte de ces effets, dus au défaut d'énergie de l'appel de certains fourneaux, contrariés par d'autres beaucoup plus actifs.

Les avantages de l'appel unique exercé par une seule cheminée ont d'ailleurs été trop nettement constatés au palais du Corps législatif de Paris et au Conservatoire des arts et métiers, et ailleurs, pour qu'il soit nécessaire d'insister.

On sait depuis longtemps que, dans beaucoup de grandes forges ou usines, une seule cheminée suffit pour assurer le tirage le plus énergique à un grand nombre de foyers.

Il serait à désirer que des expériences directes fussent faites pour déterminer le volume d'air, qui peut être évacué par la grande cheminée.

Jusqu'ici l'on a seulement constaté que, dans les carreaux d'évacuation de l'un des amphithéâtres, la vitesse pouvait s'élever au chiffre excessif de 5 à 6 mètres en une seconde, et que dans les vitrines, les vapeurs si infectantes de l'anhydride de phosphore étaient entraînées avec une rapidité remarquable.

Enfin, l'énergie régulière de l'appel exercé dans les étuves a aussi naturellement pour effet d'y déterminer des courants d'air rentrants, qui s'opposent à toute émission à l'intérieur des salles des produits des opérations.

Grâce à l'ensemble de dispositions bien combinées que l'on vient de décrire et qui, sous la direction de M. le professeur Oudemans, ont été fort bien exécutées par l'architecte M. Morre, les professeurs de l'Institut polytechnique de Delft et leurs nombreux élèves peuvent se livrer, avec sécurité, aux opérations les plus dangereuses, sans s'exposer, comme on n'en a que trop d'exemples, à des inconvénients graves et même à des dangers auxquels la science n'a pas toujours assez songé à soustraire les chimistes.

---

SUR LA FLUIDITÉ  
ET  
L'ÉCOULEMENT DES CORPS SOLIDES

PAR M. TRESCA.

---

NOTE LUE A L'EXPOSITION DU MUSÉE DE KENSINGTON, A LONDRES.

Lorsqu'il y a dix ans, à la suite d'expériences soigneusement répétées, je pensai devoir associer, dans le langage de la science, ces deux mots : écoulement des corps solides (*flow of solid bodies*), mes premières communications ne furent pas accueillies sans quelque nuance d'incrédulité, et c'est pour moi un devoir de reconnaissance de citer ici M. Tyndall, M. Fairbairn et M. Scott Russell parmi les savants qui les ont tout d'abord considérées avec intérêt. Je voudrais les remercier dans votre langue, mais elle ne m'est pas assez familière, et je compte sur votre indulgence pour me permettre de vous entretenir en français.

Cependant, la question de l'écoulement des corps solides a fait fortune, elle m'a valu des suffrages que je n'aurais pas osé ambitionner, et qui me permettent aujourd'hui de saluer votre exposition au nom de la Science française, qui a tenu à vous prêter à son sujet une large et sympathique collaboration.

Le fait principal de l'écoulement des corps solides était bien simple : lorsqu'une masse résistante, enfermée dans une enveloppe, est soumise à une action extérieure d'une intensité suffisante, elle transmet, dans tous les sens, des pressions plus ou moins grandes, et si la paroi est percée d'un orifice, la matière s'échappera par cet orifice, en formant un jet aux dépens des

différentes parties de la masse. Lorsque celle-ci est homogène, lorsque la forme de la masse est régulière, lorsque l'orifice est placé par rapport à elle dans certaines conditions de symétrie, le mode de répartition finale peut être déduit du mode de répartition initiale, et les premières expériences faites décident les conditions cinématiques d'un tel écoulement.

C'est ainsi qu'en constituant un bloc cylindrique par la superposition d'un certain nombre de plaques de plomb, on a pu reconnaître que chacune de ces plaques venait à son tour pénétrer dans le jet et y former un tube concentrique lorsque l'orifice est lui-même concentrique.

Pourquoi avons-nous éprouvé tant d'étonnement lorsqu'en coupant, suivant un plan méridien, le jet ainsi formé, nous l'avons trouvé composé d'autant de tubes continus qu'il y avait de plaques, jusqu'à l'épuisement complet de la matière qui en avait alimenté la formation ? La précision toute géométrique des phénomènes naturels pouvait-elle vraiment se traduire d'une autre façon ? Toujours est-il, comme vous le voyez, que la régularité ne saurait être plus complète, qu'elle nous apparaît avec le caractère de l'évidence la plus absolue. La constitution moléculaire, indéfiniment réductible, ne saurait assurément être mieux justifiée que par ces parois parallèles, conservant jusqu'à l'épaisseur microscopique, qui sont si souvent l'apanage des tissus naturels, une égalité d'allure et de direction bien remarquable.

Ces expériences d'écoulement concentrique ont été aussitôt, au point de vue des déplacements relatifs, soumises au calcul, et nous pouvons, aujourd'hui, dans une telle déformation, assigner la trajectoire de chacune des molécules de la masse et fixer avec assurance la position finale par rapport à celle qu'elle occupait dans sa masse primitive ; par les mêmes moyens aussi, les transformées de toute ligne ou de toute surface définie dans sa position première.

Ces expériences deviennent bien autrement probantes lorsqu'on varie la forme et la position des orifices ; ce sont toujours des tubes qui répondent aux plaques primitives, mais les épaisseurs relatives des parois de ces tubes, les juxtapositions et les contournements qui en résultent sont aussi instructifs, au point de vue de la netteté de leurs formes et de la répartition des pressions dans toute l'étendue de la masse qui s'écoule. Cette ques-

tion, d'ailleurs, va nous occuper d'une manière plus spéciale dans l'étude du poinçonnage.

Lorsqu'un poinçon pénètre dans une plaque métallique, il chasse devant lui la matière de cette plaque, qui commence, à un moment déterminé, par former une protubérance sur la face opposée, et qui finit par s'en détacher, sous forme d'un cylindre de même diamètre que le poinçon, et que l'on désigne sous le nom bien caractéristique de débouchure. Au-dessous de certaines épaisseurs, la débouchure conserve une hauteur égale à la dimension de la plaque en épaisseur, mais il n'en est plus ainsi lorsque la plaque est beaucoup plus épaisse.

Une débouchure de 1 centimètre de hauteur a été fournie par un bloc d'une épaisseur de 5 centimètres. Si le bloc est formé de plaques superposées, toutes les plaques sont cependant représentées dans cette débouchure : les plaques inférieures, à peu de chose près, par leurs épaisseurs primitives ; la plaque supérieure par une sorte de lentille plan-convexe dont la face courbe a pour base la face plane, restée en contact avec le poinçon, et qui a conservé, suivant l'axe commun, la presque-totalité de son épaisseur primitive ; les plaques intermédiaires par autant de gobelets emboutis les uns dans les autres, aboutissant à la même face plane, et dont les fonds ont des épaisseurs variables, d'une minceur extrême sur un certain point de l'axe de la débouchure.

Ce point est le centre principal de l'écoulement qui s'est produit de l'axe à la circonférence, sous l'influence des pressions déterminées et transmises par le poinçon à l'intérieur même de la masse. Lorsque cet écoulement a pu se produire, la résistance verticale de la cloison à poinçonner était nécessairement plus grande que la résistance latérale ; les deux résistances seront, au contraire, du même ordre lorsque la débouchure commencera à se détacher, et l'effort à faire pour continuer le poinçonnage ira ensuite en diminuant rapidement jusqu'à la fin de l'opération.

Ce jeu des résistances, que nous pouvons conclure des faits eux-mêmes, nous a donné la vraie connaissance du jeu des pressions transmises, et nous avons pu formuler dès lors les lois de la transmission des pressions dans une masse solide en voie de déformation, dans toute une zone plus ou moins étendue, que nous avons appelée la zone d'activité. Enfin, en constatant l'effort à exercer au moment où la débouchure se sépare, nous avons pu

déterminer les véritables coefficients de cisaillement, qui sont les suivants, par centimètre carré :

Plomb. . . . .	482	kilog.
Étain. . . . .	209	"
Alliage de plomb et d'étain. . . . .	239	"
Zinc. . . . .	900	"
Cuivre. . . . .	1 893	"
Fer. . . . .	3 757	"

Il est à remarquer que ces chiffres se rapprochent beaucoup de ceux de la résistance à la rupture par extension, pour chacun des métaux expérimentés.

Les résultats du calcul de la transmission du travail mécanique d'une couche à la suivante ont permis d'établir la loi mathématique de la répartition des pressions, non seulement pour le poinçonnage, mais encore pour les différents modes de déformation précédemment étudiés. Les formules indiquées par cette méthode ont été justifiées ultérieurement par M. de Saint-Venant et par M. Lévy. Tout récemment, M. Boussinescq, de la faculté de Lille, nous annonçait qu'il les avait retrouvées par des considérations exclusivement mécaniques, et elles peuvent dès lors être considérées comme acquises à la science de la façon la plus complète.

Un autre genre de recherches nous a longuement occupé; ce sont celles qui se rapportent au rabotage des métaux. Le copeau que l'outil enlève et qui, jusqu'alors, n'avait pas même attiré l'attention des praticiens, offre des particularités bien remarquables. Non seulement il se vrille souvent en hélice, ce qui est le résultat des raccourcissements inégaux des différentes files de molécules qui le composent, mais, à un point de vue plus général, on peut dire de combien il se raccourcira dans une circonstance donnée, environ des quatre cinquièmes de la longueur primitive dans les cas les plus ordinaires de la pratique; et de combien, par conséquent, sa dimension transversale augmentera, en même temps, sa densité n'ayant pas varié sensiblement. Ce copeau, qui est la transformée du prisme enlevé par le burin, augmente en épaisseur en raison inverse de sa variation en longueur. L'examen de ces déformations complexes, dans lesquelles les formes définitives ne dépendent plus de celles des moules, des filières ou des poin-

çons dont nous avons parlé précédemment, mais seulement des forces extérieures et intérieures qui sont mises en jeu. Nous n'avons pu encore les caractériser sûrement que dans un petit nombre de circonstances; mais voici cependant un modèle qui montre comment la matière, refoulée par un outil d'une forme particulière et symétrique, passe d'une section carrée à une section triangulaire, très agrandie, sous l'influence des pressions transmises, en passant par des intermédiaires géométriques tracés d'après une épure et appartenant à des surfaces analytiquement définies. Plus d'une découverte sera faite en mécanique moléculaire par la poursuite de ces phénomènes, absolument négligés jusqu'ici, et qui touchent de si près aux propriétés mêmes de la matière.

Le forgeage est aussi un des moyens qui peuvent être employés dans cette étude si attrayante de la mécanique moléculaire. Une barre de fer n'est rien autre chose qu'un paquet de filaments juxtaposés et agglutinés, provenant individuellement d'un noyau déterminé. A mesure qu'on augmente le nombre des mises, et qu'on étire davantage la masse formée par leur juxtaposition, ces filaments deviennent plus ténus, et il est facile, par des modes spéciaux d'oxydation, de reconnaître dans une pièce fabriquée tous les accidents des différents procédés qui ont été employés pour sa production. Vous pouvez bien par le forgeage épanouir ces filaments ou les concentrer, les réunir ou les séparer, mais vous ne pouvez les faire disparaître, et c'est encore là un des moyens d'investigation qui doivent servir à l'étude des déformations intérieures, correspondant à tel ou tel changement de forme extérieure. Une fois que chacun des déplacements relatifs est connu, ainsi que l'effort nécessaire pour le produire, on est bien près de pouvoir déterminer le mode d'exécution le meilleur et d'évaluer le travail mécanique qu'il exige.

Dans l'une de nos expériences de forgeage, faite sur une grande échelle et sur du platine iridié, il s'est présenté un phénomène accessoire, qui a nécessairement appelé toute notre attention et qui se rattache si intimement à la déformation des corps solides, que vous me permettrez d'en dire quelques mots, quoique les expériences qui en dérivent ne soient pas encore terminées; c'est pour moi, d'ailleurs, une grande satisfaction d'en faire connaître, avant toute publication, les premiers résultats devant une assemblée de savants anglais.

Le 8 juin 1874, nous avons seulement indiqué à l'Académie des sciences le fait principal : lorsque la barre de platine, au moment du forgeage, s'était déjà refroidie jusqu'au-dessous de la température rouge, il est arrivé plusieurs fois que le coup de marteau-pilon qui déterminait simultanément, dans cette barre, une dépression locale et un allongement, se réchauffait suivant deux lignes inclinées, formant sur les côtés de la pièce les deux diagonales de la partie déprimée, et ce réchauffement était tel que le métal était, suivant ces deux lignes, ramené assez franchement à la température rouge pour qu'on pût en distinguer très nettement la forme. Ces lignes de plus grande chaleur restaient même lumineuses pendant quelques instants et présentaient l'aspect des deux jambages de la lettre X. Dans certaines circonstances, nous avons pu compter simultanément jusqu'à six de ces X produits successivement, les uns à la suite des autres, à mesure que l'on déplaçait la pièce en travail pour l'étirer de proche en proche sur une partie de sa longueur.

L'explication de ces traces lumineuses ne pouvait faire aucun doute : les lignes de plus grand glissement étaient aussi les zones de plus grande chaleur développée, et nous étions en présence d'un fait de thermo-dynamique parfaitement défini. Si ce fait n'avait pas été observé encore, cela tenait évidemment à ce que les circonstances nécessaires à sa manifestation ne s'étaient pas trouvées, toutes ensemble, réunies d'une façon aussi favorable. Le platine iridié exige pour sa déformation une grande somme de travail ; sa surface est inaltérable et presque translucide lorsque le métal est porté à la température rouge ; il est médiocrement conducteur de la chaleur ; sa capacité calorifique est assez faible ; toutes conditions pour que le phénomène fût rendu sensible dans le forgeage de ce métal, alors qu'il était resté inaperçu avec tous les autres.

En anticipant cette explication, nous avions cependant pour devoir de la justifier bientôt par des expériences plus directes, dont nous avons maintenant à vous entretenir, et qui constituent la principale nouveauté, oserai-je dire le principal intérêt, de cette communication.

Une barre métallique étant donnée, à la température ordinaire, si, après l'avoir enduite de cire ou de suif sur ses deux faces latérales, on la soumet à l'action d'un seul coup de mouton, la cire fond

en regard de la dépression produite, et l'on constate que cette cire fondu affecte, dans certains cas, la forme des deux branches de l'X, que nous avions observées sur le platine; dans d'autres cas, les jambages sont courbes et présentent en regard leurs convexités; c'est qu'alors la chaleur s'est disséminée davantage et que la cire s'est fondu dans tout l'intervalle qui les sépare.

Le prisme qui a ce tracé pour base et pour hauteur, la largeur même de la pièce, représente un certain volume et un certain poids, et si l'on admet qu'il a été tout entier porté à la température de la cire fondu, cette élévation de température représente une certaine quantité de chaleur, ou, en raison de l'équivalent mécanique, une certaine quantité de travail intérieur qui se trouve directement constatée par l'expérience. En comparant ce travail transformé au travail fourni par la chute du mouton, on trouve un coefficient de rendement mécanique qui n'est pas inférieur à 70 pour 100. Nous ne considérons pas ce chiffre pour définitif; il dépend de la conductibilité du métal, de la stabilité de l'installation, de la netteté des contours de la surface fondue; mais ce que je voulais vous dire, messieurs, c'est que nous voilà revenu aux premières méthodes de M. Joule, et que nos travaux sur l'écoulement des corps solides nous ramènent déjà à quelques constatations thermo-dynamiques.

Nous avions, dès l'origine de ces recherches, exprimé la pensée que les phénomènes observés dans les glaciers sont, sur plus d'un point, dus à des déformations mécaniques de la glace soumise à l'action des charges immenses que sa plasticité lui permet de transmettre dans tous les sens. Il nous a été donné, tout dernièrement, d'aider M. Daubrée dans son récent travail, sur la schistosité des roches. Les expériences faites à ce sujet ne laissent plus subsister le moindre doute sur la facilité avec laquelle le plus petit mouvement relatif, distribué dans une masse quelconque, fût-elle absolument homogène, détermine des sens de glissement tout à fait manifestes. Le meilleur moyen de les mettre en plus parfaite évidence consiste à disséminer dans cette masse de petites paillettes de mica, qui s'alignent aussi exactement qu'on l'observe dans les micaschistes, suivant le plan même de chacun des mouvements relatifs. Dans cet échantillon, par exemple, qui résulte de l'écoulement d'un pain de terre argileuse par l'orifice d'une filière rectangulaire, on n'aperçoit aucune paillette dans les cas-

sures transversales, tandis qu'elles se montrent toutes, parfaitement rangées les unes à la suite des autres, sur les fentes que l'on détermine facilement dans le sens longitudinal, en profitant de la schistosité que conserve la terre après sa dessiccation, aussi nettement que dans les schistes des différentes formations.

A un autre point de vue, l'écrasement de blocs de terre ou de plomb produit entre des plans de compression, en permettant à la matière de s'échapper dans un seul sens, nous a donné des représentations, frappantes de vérité, du redressement de certaines couches, de leurs contournements avec des caractères de schistosité, distribués comme ils le sont dans la nature, et, enfin, de véritables soulèvements dont les courbures et les déchirures sont d'une imitation tout aussi satisfaisante.

Nous sommes ainsi très fondé à dire que l'étude de l'écoulement des corps solides a déjà jeté quelque jour sur les phénomènes géologiques, ou plus généralement sur les phénomènes de la nature inorganique. En sera-t-il de même dans l'avenir en ce qui concerne les phénomènes organiques ? C'est là une question qui ne saurait être encore envisagée dans le domaine scientifique : nous savons seulement que les végétaux croissent par l'accession des cellules, qui se groupent toujours suivant une disposition tubulaire, que certaines excroissances animales, telles que les tissus cornés, affectent aussi, pendant leur développement, des formes qui sont invariablement les mêmes, et qui semblent dérivées de leur première disposition, comme si, dans l'une et dans l'autre condition, la disposition finale se trouvait déduite, par voie de circulation des fluides nourriciers, dans les enveloppes formées par les tissus déjà confectionnés et préparés pour les recevoir. Quelque éloignée que soit cette similitude, qui est en quelque sorte le caractère dominant de toutes les formations organiques, j'allais dire le caractère mécanique du phénomène de développement des végétaux et des animaux, il n'est pas irrational de supposer qu'un jour viendra où ces phénomènes s'expliqueront, au moins dans leur partie essentiellement mécanique, et indépendamment de toutes les actions plus purement physiologiques et le plus souvent dominantes, par des considérations analogues à celles dont vous avez bien voulu nous permettre de vous entretenir aujourd'hui.

COMPTEUR A ALCOOL.

Fig. 4.

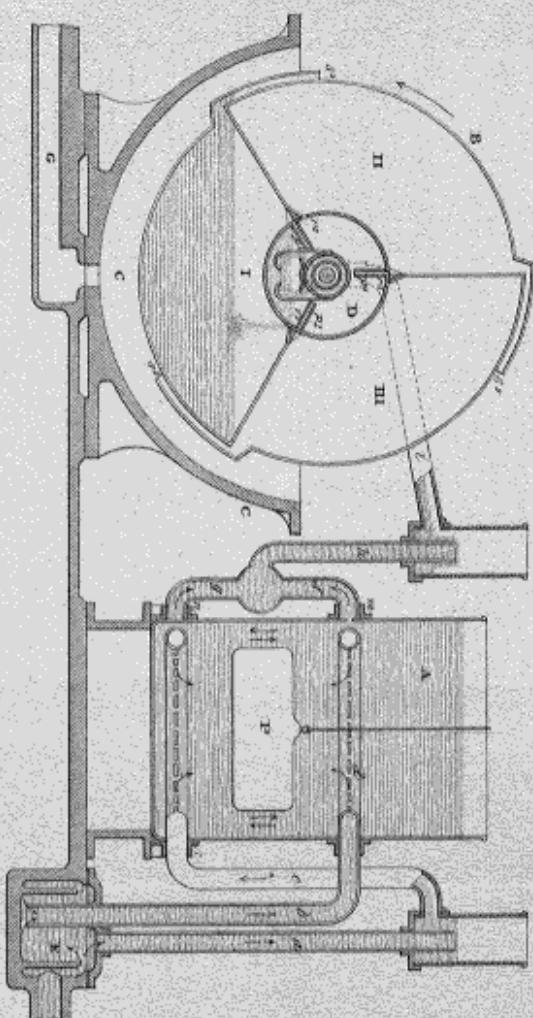


Fig. 3.

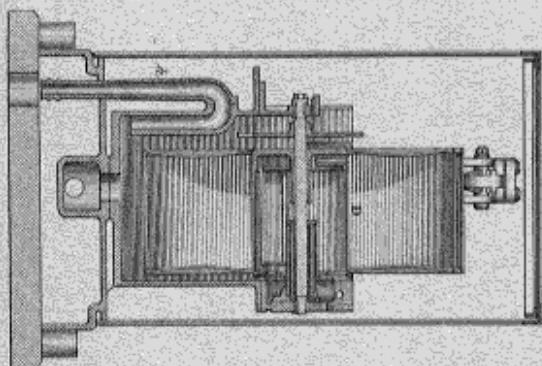


Fig. 5.

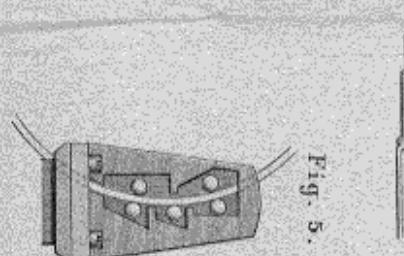


Fig. 2.

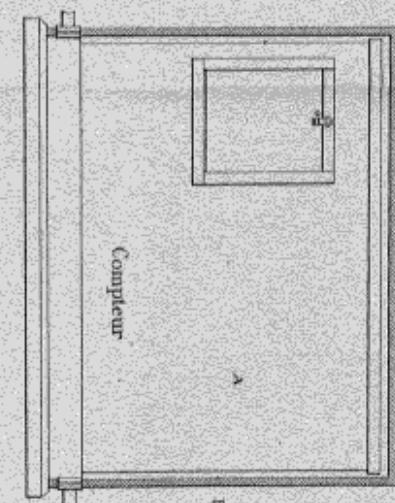
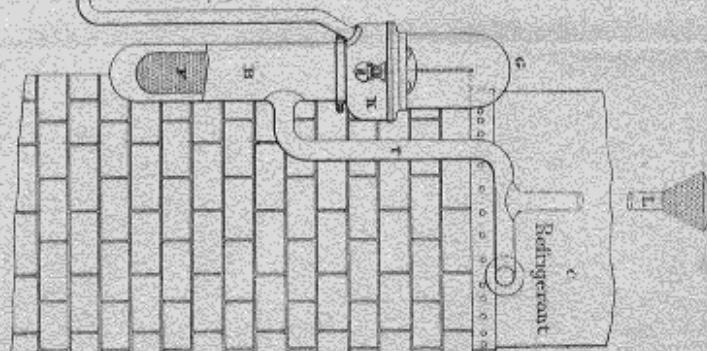
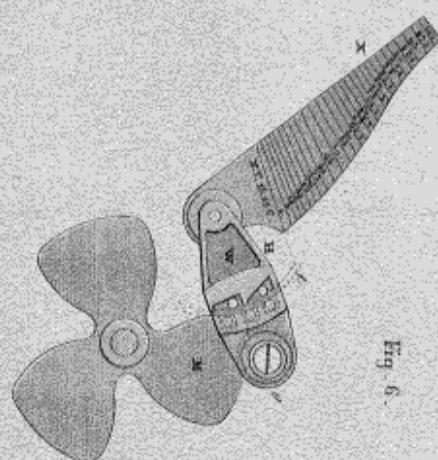


Fig. 6.



Plan des Sœurs-aux-

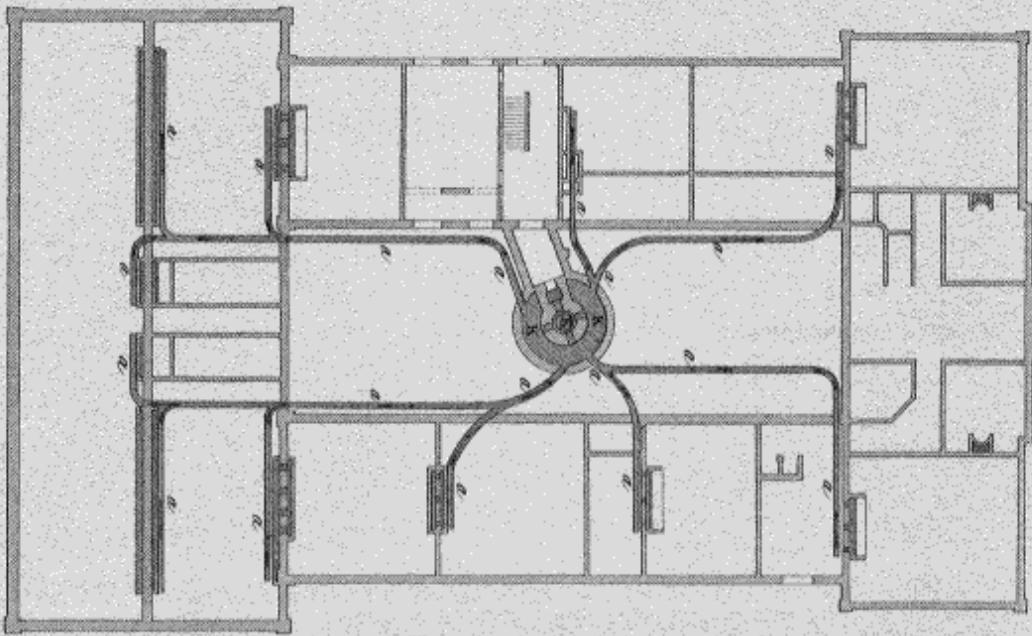


Fig. 2.

Plan du Rés-de-Chaussée

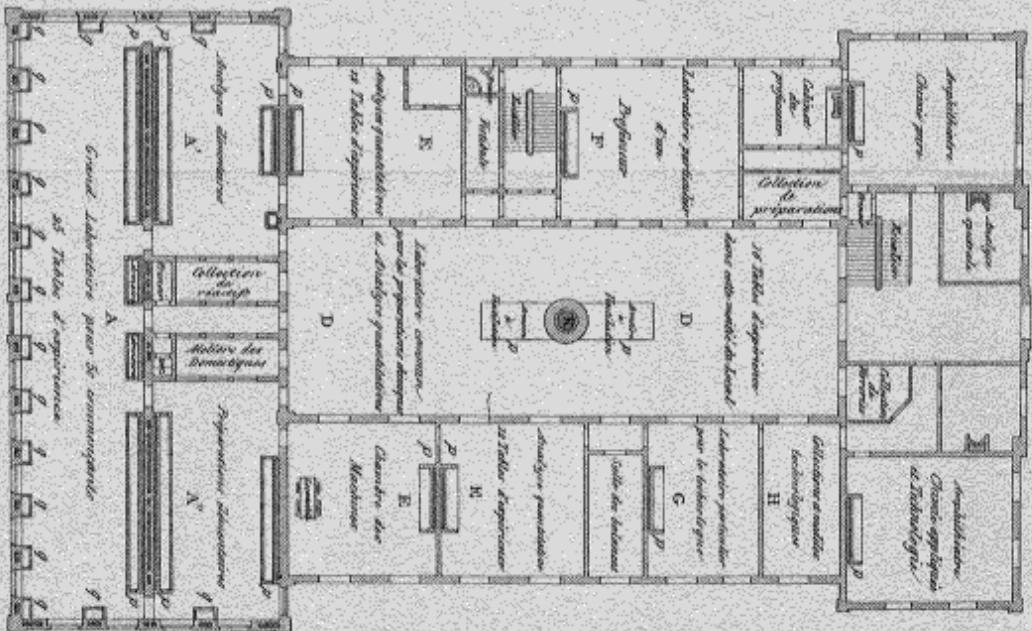


Fig. 1.

## ***Principaux Articles***

**QUI PARAITTRONT DANS LES PROCHAINES NUMÉROS.**

---

**M. TRESCA.** — Procès-verbaux des expériences de mécanique au Conservatoire des arts et métiers.

**M. LAUSSEZAT.** — Instruments enregistreurs.

**M. LE GÉNÉRAL MORIN.** — Étude sur les écoles d'apprentissage.

**M. TRESCA.** — Études sur les machines de l'Exposition universelle de 1878.

BIBLIOGRAPHIE des publications techniques.

---

## **NOTE DE PUBLICATION**

Le présent ouvrage est le fruit d'un partenariat entre le Cnam et l'Institut des hautes études en sciences politiques de Paris. Il a été élaboré dans le cadre d'un programme de recherche sur les relations entre la sécurité sociale et les marchés financiers suscité par la crise de 2008. Il a été rédigé par un groupe de chercheurs et d'experts issus de ces deux institutions et de l'Institut d'études politiques de Paris.

Il a été édité par le Cnam et l'Institut des hautes études en sciences politiques de Paris.

Il a été édité par le Cnam et l'Institut des hautes études en sciences politiques de Paris.