

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- [Le Conservatoire numérique](#) communément appelé [le Cnum](#) constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre (www.eclydre.fr).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

- la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue ([Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - http://cnum.cnam.fr](#))
- la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

5- L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

Auteur(s)	Exposition minéralo-métallurgique. 1883. Madrid
Titre	Exposition minéralo-métallurgique de Madrid en 1883. France. Notices sur les cartes et ouvrages exposés par le ministère des Travaux publics
Adresse	Paris : Imprimerie nationale, 1883
Collation	1 vol. ([4]-137 p.) ; 25 cm
Cote	CNAM-BIB 8 Xae 307
Sujet(s)	Cartes géologiques Exposition minéralo-métallurgique (Madrid ; 1883) Métallurgie
Thématique(s)	Construction Expositions universelles
Typologie	Ouvrage
Langue	Français
Date de mise en ligne	17/01/2020
Date de génération du PDF	04/03/2020
Permalien	http://cnum.cnam.fr/redir?8XAE307

NOTICES
SUR
LES CARTES ET OUVRAGES
EXPOSÉS
PAR LE MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS



8 447

8° Xa 307

EXPOSITION
MINÉRALO-MÉTALLURGIQUE DE MADRID
EN 1883

FRANCE

NOTICES
SUR
LES CARTES ET OUVRAGES
EXPOSÉS
PAR LE MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS



PARIS
IMPRIMERIE NATIONALE

M DCCC LXXXIII

NOTICES
SUR
LES CARTES ET OUVRAGES
EXPOSÉS
PAR LE MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS.

DIRECTION DES ROUTES, DE LA NAVIGATION
ET DES MINES.

SERVICE DE LA STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE.

I.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE ET DES APPAREILS À VAPEUR
EN FRANCE ET EN ALGÉRIE POUR L'ANNÉE 1881.

La publication de la statistique de l'industrie minérale, par les soins du Ministère des travaux publics, date de 1833. Ce recueil est dressé d'après les renseignements que rassemblent chaque année les ingénieurs des mines dans chaque département.

Le volume exposé contient les renseignements obtenus dans le cours de l'année 1882 touchant les mines, les usines métallurgiques et les appareils à vapeur qui ont été en activité en 1881.

Il comprend trente tableaux, dont seize sont consacrés aux mines, six aux usines métallurgiques de gros œuvre et huit aux appareils à vapeur. Cet ensemble est complété par deux tableaux synoptiques consacrés à la statistique

internationale, et qui donnent : l'un, la production *minérale* ; et l'autre, la production *métallurgique* de la France et des principaux pays du globe.

Cette collection de chiffres est précédée d'un rapport de l'Ingénieur en chef des mines, chargé du service de la statistique de l'industrie minérale au Ministère des travaux publics, présenté par le Conseiller d'État, Directeur des routes, de la navigation et des mines, rapport dont l'objet est d'exposer, dans ses traits généraux, la situation des mines et des usines françaises, ainsi que des appareils à vapeur. Pour faciliter l'intelligence des faits, de nombreux diagrammes, se rapportant uniformément à la période des dix dernières années, sont intercalés dans le texte. En voici l'énumération, qui donnera une idée sommaire des matières traitées dans le volume :

OBJET DES DIAGRAMMES.

- 1° Importation et exportation des combustibles minéraux ;
- 2° Production, consommation et prix moyen des combustibles minéraux ;
- 3° Production et prix moyen de la tourbe ;
- 4° Production et prix moyen des minerais bitumineux ;
- 5° Production et prix moyen des minerais de fer en France ;
- 6° Production et prix moyen des minerais de fer en Algérie ;
- 7° Proportion des divers minerais de fer, suivant leur nature minéralogique ;
- 8° Importation et exportation des minerais de fer ;
- 9° Valeur des minerais concédés, autres que ceux de fer, produits en France ;
- 10° Valeur des minerais concédés, autres que ceux de fer, produits en Algérie ;
- 11° Production et prix moyen du sel gemme et du sel marin ;

- 12° Revenu net imposable des mines ;
- 13° Nombres absolus des ouvriers tués par accident dans les mines et les autres exploitations minérales ;
- 14° Nombres proportionnels des ouvriers tués par accident dans les mines et les autres exploitations minérales ;
- 15° Nombre de tonnes de charbon extraites, correspondant à un ouvrier tué ;
- 16° Production et prix moyen des fontes ;
- 17° Production et prix moyen des fers ;
- 18° Production et prix moyen des aciers ;
- 19° Importation et exportation des fontes, fers et aciers ;
- 20° Consommation des fontes, des fers et des aciers ;
- 21° Consommation des rails ;
- 22° Nombre des chaudières à vapeur en activité, en dehors des chemins de fer et des bateaux, et nombre des établissements correspondants ;
- 23° Nombre des bateaux naviguant à la vapeur et de leurs chaudières ;
- 24° Nombre des épreuves de chaudières à vapeur ;
- 25° Nombre absolu des victimes des accidents causés par la vapeur ;
- 26° Nombre proportionnel des accidents par 10,000 appareils à vapeur.

Aux diagrammes s'ajoutent deux cartes statistiques relatives : l'une aux bassins houillers, l'autre aux appareils à vapeur, qui sont exposées séparément et font l'objet de notices spéciales.

II.

CARTE FIGURANT LES BASSINS HOUILLERS DE LA FRANCE, LEUR PRODUCTION PAR GROUPES GÉOGRAPHIQUES, AINSI QUE L'IMPORTATION ET L'EXPORTATION DES COMBUSTIBLES MINÉRAUX, PAR BUREAUX DE DOUANE, EN 1881.

Cette carte, à l'échelle de $\frac{1}{2\,000\,000}$, réunit deux sortes d'indications. En premier lieu, on y trouve figurés en noir tous

les bassins houillers de la France. Des traits discontinus établissent entre eux divers groupements, destinés à faciliter l'examen de la production, soit des houilles, soit des lignites, au point de vue géographique.

Le nombre q de tonnes extraites de chaque groupe pendant l'année 1881 est représenté graphiquement par la surface d'un cercle dont le diamètre est calculé par la formule $d = \frac{1}{2} \text{ mm} + \sqrt{\frac{q}{1\,000}}$ et qui est placé au centre de production.

Les nombres inscrits sur la carte indiquent des *milliers de tonnes*.

La liste suivante donne les noms des dix-neuf groupes géographiques adoptés, accompagnés de ceux des bassins élémentaires dont ces groupes sont formés, et le montant de la production correspondante ¹ :

	Tonnes.
Nord et Pas-de-Calais (Valenciennes et le Boulonnais)	8,992,000
Loire (Saint-Étienne et Rive-de-Gier, Sainte-Foy-l'Argentière, Communay et le Roannais) . . .	3,516,000
Gard (Alais, le Vigan, Aubenas)	1,933,000
Bourgogne et Nivernais (le Creusot et Blanzay, Decize, Épinac et Aubigny-la-Ronce, Bert, la Chapelle-sous-Dun, Sincéy et <i>Forges</i>)	1,552,000
Tarn et Aveyron (Aubin, Carmaux, Rodez, Saint-Perdoux)	1,080,000
Bourbonnais (Commentry et Doyet, Saint-Éloy, l'Aumance et la Queune)	960,000

¹ Les bassins dont les mines n'ont pas été exploitées dans l'année ont leurs noms en *italiques*.

Auvergne (Brassac, Langeac, Champagnac et Bourg-Lastic)	292,000
Hérault (Graissessac et <i>Boujan</i>)	273,000
Vosges méridionales (Ronchamp)	179,000
Ouest (le Maine, Basse-Loire, Vouvant et Chantonay, <i>le Cotentin</i> et <i>Saint-Pierre-la-Cour</i>) . .	170,000
Creuze et Corrèze (Ahun, Cublac, Meymac, Argentat et Bourganef)	144,000
Alpes occidentales (le Drac, Maurienne-Tarentaise et Briançon, Oisans et <i>Graisivaudan</i> , Chablais et Faucigny)	120,000
Les Maures (Fréjus)	1,000
<i>Les Pyrénées</i> (<i>Ibantelly, Durban</i> et <i>Ségure</i>)	"

LIGNITE.

Provence (le Fuveau, Manosque, la Cadière).	497,000
Comtat (Bagnols, Orange, Banc-Rouge et <i>Lagunas</i> , Méthamis, Barjac, Célas et <i>Montoulieu</i>).	31,000
Sud-Ouest (Millau et Trévezel, Estavar, <i>Orignac</i> , <i>Saint-Lou</i> , <i>Larquier</i> , Simeyrois et la Chapelle-Péchaud, la Gaunette)	12,000
Vosges méridionales (Gouhenans, <i>Gémonval</i> et Norroy)	10,000
Haut-Rhône (Entrevernes et <i>Chambéry</i> , la Tour-du-Pin, Hauterives et Douvres)	4,000
TOTAL	<u>19,766,000</u>

En second lieu, la carte indique à l'encre bleue les divers bureaux de douane par lesquels ont eu lieu en 1884 les importations et les exportations. Le tonnage des houilles, entrées ou sorties, est figuré sur l'emplacement de chaque bureau par un cercle bleu dont le diamètre a été calculé

par la formule précédente. Pour les importations, les cercles ont leur surface striée, et le sens des stries, nettement accusé, différencie les houilles anglaises, belges, allemandes. Pour les combustibles exportés, la circonférence est seule teintée.

Dans un cartouche se trouve un diagramme circulaire, qui figure à une échelle réduite au quart, au moyen de secteurs, les totaux de la production de l'importation et de l'exportation, pour la France entière, savoir :

Production	19,766,000 tonnes.
Importation	10,221,000
Exportation	593,000

L'importation se compose de :

Houilles	{	belges	5,396,000 tonnes.
		anglaises	3,569,000
		allemandes	1,255,000
		de pays divers	1,000

Le diagramme est disposé de façon que sa partie teintée représente la consommation, laquelle a été de 29,428,000 tonnes.

III.

CARTE DE LA DISTRIBUTION PAR DÉPARTEMENT DES COMBUSTIBLES EXTRAITS DES PRINCIPAUX BASSINS DE LA FRANCE EN 1880.

Cette carte statistique comprend dans un même cadre l'assemblage de neuf petites cartes indiquant l'importance

et l'étendue du marché des principaux bassins de la France, savoir :

BASSINS.	COMBUSTIBLES	
	livrés à la CONSOMMATION INTÉRIEURE.	EXPORTÉS.
	tonnes.	tonnes.
Nord et Pas-de-Calais.....	8,426,000	131,000
Loire (Saint-Étienne et Rive-de-Gier).....	3,528,000	53,000
Alais.....	1,717,000	236,000
Le Creusot et Blanzv.....	1,085,000	43,000
Aubin.....	684,000	"
Commentry.....	795,000	"
Le Fuveau (lignites).....	387,000	71,000
Carmaux.....	307,000	"
Graissessac.....	248,000	3,000

A chacun des bassins susindiqués est affecté un cartouche spécial contenant un fragment de la carte de France limité aux départements ayant consommé dans l'année au moins un *millier* de tonnes de combustible provenant du bassin. Ce cartouche figure par conséquent l'étendue du marché, ainsi qu'elle vient d'être définie. De plus, des cercles teintés en noir, placés au milieu de chacun des départements dont il s'agit, représentent par leur surface le poids de charbon provenant du bassin considéré, qui est consommé dans chacun d'eux.

On voit, par l'examen de la carte, que le marché houiller comprend 32 départements pour le bassin du Nord et du Pas-de-Calais (Valenciennes), 34 pour celui de la Loire (Saint-Étienne et Rive-de-Gier), 20 pour celui d'Alais, 19 pour le bassin du Creusot et de Blanzv, 24 pour celui

d'Aubin, 14 pour celui de Commentry, 12 pour celui de Graissessac, 11 pour celui de Carmaux, 4 pour les lignites d'Aix ou du Fuveau.

Parmi les nombreux départements qu'approvisionnent les grands bassins, la plupart de ceux qui sont situés à une certaine distance des mines ne reçoivent que quelques milliers de tonnes de la même provenance et tirent des divers bassins qui les entourent les éléments de leur consommation. La majeure partie de la production des houillères est absorbée à proximité des exploitations ou dans les départements circonvoisins; il n'y a guère d'exception que pour les houilles du Nord et du Pas-de-Calais, dont des départements même éloignés, tels que celui de la Seine, font une importante consommation.

IV.

CARTE NUMÉRIQUE DE LA CONSOMMATION DES HOUILLES EN FRANCE, PAR DÉPARTEMENT, EN 1879.

Ce cartogramme est divisé en quatre parties affectées à l'indication numérique et à la figuration, au moyen de teintes dégradées, de la consommation départementale : 1° des houilles françaises ou étrangères indistinctement; 2° des houilles belges; 3° des houilles anglaises; 4° des houilles allemandes.

Le montant de la consommation est inscrit en caractères très apparents, par unités de 1,000 tonnes, dans tous les départements. Ceux-ci sont distingués en six zones, suivant qu'ils ont absorbé plus ou moins de charbon.

La carte montre que la consommation pour 1879 est :

		Tonnes.
Pour	23 départements (1 ^{re} zone), de moins de..	50,000
	25 ————— (2 ^e zone), de 50,000 à	100,000
	14 ————— (3 ^e zone), de 100,000 à	200,000
	12 ————— (4 ^e zone), de 200,000 à	500,000
	5 ————— (5 ^e zone), de plus de...	500,000

Le marché des houilles anglaises comprend 46 départements, dont 30 d'ailleurs ont consommé moins de 50,000 tonnes de ces combustibles.

Celui des houilles belges en comprend 25, et celui des houilles allemandes 13, y compris le territoire de Belfort.

Les houilles anglaises alimentent principalement le nord et l'ouest de la France. Leur débouché le plus considérable est dans la Seine-Inférieure; ensuite dans la Seine, la Loire-Inférieure, la Gironde, le Pas-de-Calais, le Calvados. Ces six départements absorbent la moitié de l'importation. De même, les trois départements du Nord, de la Seine et de Meurthe-et-Moselle consomment plus de la moitié des houilles importées de Belgique. Ce dernier département retient en outre près des six dixièmes des charbons importés d'Allemagne.

La consommation totale de la France en 1879 s'est composée de :

Houilles	françaises.....	16,450,000 tonnes.
	belges.....	4,820,000
	anglaises.....	3,012,000
	allemandes.....	1,047,000
	d'autres pays.....	3,000
CONSOMMATION TOTALE...		<u>25,332,000</u>

V.

CARTE DES USINES SIDÉRURGIQUES FRANÇAISES
ET DE LEUR CONSISTANCE EN 1880.

On comptait, en 1880, 332 usines sidérurgiques en activité. Dans ces usines ont fonctionné :

1° Pour la fabrication de la fonte, 204 hauts fourneaux, dont 139 marchant au coke, 44 au charbon de bois et 18 au mélange des deux combustibles ;

2° Pour la fabrication du fer et de la tôle, 923 fours à puddler, 198 foyers d'affinerie, y compris 11 foyers catalans ;

3° Pour celle de l'acier, 19 cornues Bessemer et 56 fours Siemens-Martin, 52 fours à puddler et 149 fours servant principalement à la cémentation et à la fusion en creusets.

La carte fournit, d'une manière détaillée, ces renseignements pour chaque usine, grâce à une notation graphique dont le principe est emprunté à la sténographie. Ce qui ajoute beaucoup à son intérêt, c'est qu'elle indique le groupement des usines appartenant à une même société. Les usines assez nombreuses, qui se trouvent dans ce cas, sont reliées entre elles par des traits pointillés le long desquels on peut lire les noms des sociétés.

La carte d'ensemble à l'échelle de $\frac{1}{2\,000\,000}$ est complétée par une carte de détails à plus grande échelle ($\frac{1}{500\,000}$). La première donne les usines isolées ou les groupes peu denses, en se bornant, à cause de la petitesse de son échelle, à représenter les groupes plus compacts par masse et avec

les noms de leurs principales usines. La seconde figure le détail de ces derniers groupes, et reproduit la liaison des usines, grâce à un ingénieux arrangement.

Ces deux cartes ont été combinées et dressées par M. Cheysson, Directeur des cartes et plans, à l'aide d'une carte générale unique, à plus grande échelle, qui a été composée par le service de la statistique de l'industrie minière, conformément aux indications de M. Keller, Ingénieur en chef des mines, chargé de ce service.

VI.

CARTE GÉOGRAPHIQUE ET STATISTIQUE DE LA PRODUCTION MINÉRALE DE LA FRANCE EN 1876.

Cette carte est la reproduction, à une échelle réduite, de la carte murale qui a figuré à l'Exposition universelle de 1878 à Paris dans le pavillon du Ministère des travaux publics.

Elle comprend les mines, minières, tourbières et salines qui ont été en activité en 1876; elle indique la situation géographique de ces diverses exploitations et représente le poids des substances minérales qu'on en a extraites pendant la même année.

C'est la première publication d'une carte générale des mines de la France.

On y trouve portées 564 mines, savoir : 349 de charbon, 30 d'asphalte et de bitume, 93 de fer, 8 de pyrites de fer ou de soufre, 63 mines métallifères (de plomb, cuivre, zinc, etc.), et 21 exploitations de sel gemme. y

compris les sources salées. En outre, la situation des minières, des tourbières et des marais salants, soit isolés, soit par groupes, y est indiquée. On y lit les noms de toutes ces mines, minières ou groupes de minières, et ceux des cours d'eau près desquels se tire principalement la tourbe.

Chacune des exploitations a été identifiée avec la commune où le siège principal d'extraction est établi. Des signes typographiques variés et de couleur différente permettent d'en distinguer la nature et l'objet.

A ce dernier point de vue, les substances minérales ont été classées en huit catégories dont voici la production en 1876 :

Houille et anthracite	16,635,853 tonnes.
Lignite	465,595
Tourbe	333,110
Asphalte et bitume	176,070
Minerai de fer	2,393,340
Pyrites de fer et soufre natif	144,549
Minerais divers	32,910
Sel gemme	252,081
Sel de mer	333,829

Lorsque les produits d'une mine appartiennent à deux catégories, comme c'est le cas pour quelques mines de houille d'où l'on extrait simultanément du charbon et des schistes bitumineux ou bien du minerai de fer, la réunion des deux couleurs indicatrices de ces substances spécifie cette particularité.

Les noms des exploitations des *minerais divers* sont accompagnés de lettres indiquant la nature des métaux contenus dans ces minerais : plomb, argent, cuivre, zinc.

manganèse, étain, antimoine, aluminium, etc. De même pour les pyrites de fer ou de cuivre et pour le soufre. Des caractères plus grands désignent les mines dont la production s'est élevée, en 1876, à plus de 100,000 tonnes de charbon, 50,000 tonnes de minerai de fer, 20,000 tonnes de sel gemme.

La représentation graphique des poids des divers minerais obtenus pendant l'année consiste dans l'emploi de cercles de diamètres gradués, en partant de 3 millimètres de diamètre pour figurer une extraction de 10,000 tonnes; la surface de chaque cercle est proportionnelle au nombre de tonnes qu'elle est appelée à exprimer.

Pour les minerais de fer et pour les autres minerais métalliques, le diagramme indique la production du minerai, brut ou préparé, propre au traitement métallurgique. Un cercle concentrique, d'un plus grand diamètre et d'une nuance affaiblie, représente en outre, lorsqu'il y a lieu, le tonnage des minerais extraits, à l'état brut, avant toute préparation.

Pour la tourbe et le sel marin, on a employé, au lieu de cercles, des carrés équivalents en surface.

Ces figures sont différemment coloriées, suivant la nature des minerais auxquels elles se rapportent, et permettent de se rendre compte, à la simple inspection de la carte, de la variété et de l'importance des produits minéraux tirés d'une région quelconque de la France. Chacune d'elles représente la production d'un groupe d'exploitations déterminé.

Il reste à faire connaître le procédé employé pour former et définir ces groupes.

Pour les combustibles, aucune difficulté ne se présentait.

en général, à cet égard, les mines se groupant naturellement par bassins. Toutefois on a réuni, pour plus de clarté, quelques petits centres de production sans lien géologique immédiat, soit les uns aux autres, soit au grand bassin le plus rapproché. Les mines de lignite, exploitées sur une petite échelle, présentent plusieurs exemples de pareils groupements. Par suite, les centres de production distincts sur la carte ont été réduits à 32 pour la houille et l'anthracite, à 14 pour le lignite, bien que le nombre des bassins exploités en 1876 ait été de 44 pour les premiers combustibles et de 23 pour les seconds.

Les tourbières ont été divisées en huit régions, suivant qu'elles appartiennent aux *bassins hydrographiques* de la Loire, de la Garonne, du Rhône, de la Seine, de la Somme, de l'Escaut, de la Meuse ou de la Moselle.

Les mines d'asphalte et de bitume ont été réparties en quatre groupes, correspondant aux bassins d'Autun, de l'Allier (y compris le Puy-de-Dôme), de Seyssel (Ain et Haute-Savoie), du Gard.

Les mines et minières de fer, indistinctement, ont été réunies d'après leurs relations géographiques, et, en même temps, autant qu'il a été possible, sans pousser trop loin les divisions, d'après les conditions géologiques des gisements et la nature minéralogique des minerais. Afin d'opérer graphiquement ces groupements, on s'est inspiré du procédé usité dans les cartes cosmographiques pour indiquer les constellations, et l'on a relié, au moyen de traits discontinus, les exploitations (parfois très éloignées les unes des autres) destinées à faire partie d'un même groupe.

La carte représente de cette façon vingt-cinq centres de

production, dont il a paru convenable d'indiquer séparément la production par un cercle placé dans l'intérieur du polygone caractéristique de chaque groupe et concordant approximativement avec le centre de gravité de la figure, dans la supposition où l'on appliquerait aux diverses exploitations qu'elle comprend des poids proportionnels au tonnage des minerais extraits dans l'année.

L'importance des vingt-cinq groupes de mines ou minières de fer est très inégale. Le nombre des centres de production ayant fourni plus de 20,000 tonnes se réduit à douze, d'où l'on a tiré plus des neuf dixièmes de la production totale; les principaux sont Nancy, Vassy, Privas, Autun et Bourges.

Les mines où s'exploitent les pyrites de fer, parfois légèrement cuivreuses, pour la fabrication de l'acide sulfurique, forment dans la vallée du Rhône deux groupes distincts, situés : l'un dans le département de ce nom, l'autre dans ceux du Gard et de l'Ardèche. Une petite exploitation de marnes imprégnées de soufre, qui a été en activité dans Vaucluse, est figurée séparément.

Les mines de plomb, d'argent, de cuivre, de zinc, de manganèse et d'étain, auxquelles on a joint une exploitation d'alunite et une autre de bauxite, ont été réunies, par le procédé graphique précédemment mentionné, en six groupes d'une grande étendue superficielle, dont les deux principaux correspondent au plateau central de l'Auvergne et à la chaîne des Cévennes.

Les quantités respectives des divers minerais tirés de ces mines sont mentionnées et figurées sous forme de secteurs dans un angle de la carte.

Enfin, les exploitations de sel gemme, situées aux deux extrémités opposées de la France, constituent trois groupes naturels : ceux de Meurthe-et-Moselle, du Jura et de Dax, ce dernier comprenant les sources salées des Landes et des Basses-Pyrénées. La production des marais salants est, en outre, indiquée par deux carrés de dimensions peu différentes, se rapportant d'une part aux sels de l'Atlantique, et de l'autre à ceux de la Méditerranée.

Pour compléter cet ensemble de renseignements statistiques, une échelle de proportion, placée sur le côté de la carte, représente, avec le concours de couleurs appropriées, l'importance relative de la production des houilles, des lignites, des tourbes, des asphaltes et bitumes, des minerais de fer, des pyrites de fer, des autres minerais métalliques, du sel gemme et du sel marin.

Rien ne paraît plus propre qu'une carte de ce genre à donner une juste idée de la répartition et de la fécondité relative des mines et des autres exploitations minérales, en même temps que de la nature des produits tirés de chaque région. Une collection de cartes analogues qu'on dresserait à certains intervalles (par exemple tous les vingt ans) fournirait un sujet d'études très intéressant, représenterait, à ses principales étapes, l'évolution de notre industrie minière, et résumerait l'histoire de son développement.

VII.

CARTE STATISTIQUE DE LA PRODUCTION MINÉRALE DE L'ALGÉRIE EN 1879.

Cette carte, à l'échelle de $\frac{1}{2500000}$, a été dressée d'après les

bases précédemment adoptées pour la carte de la production minérale de la France en 1876. Les mines, minières et salines en exploitation y sont indiquées avec des signes distinctifs; les mines inactives elles-mêmes, qu'il n'avait pas été possible de porter sur la carte de France sans nuire à sa clarté, à cause de leur très grand nombre, figurent sur la carte de l'Algérie, qui comprend : pour les minerais de fer, dix mines et deux minières en activité, une mine et une minière inactives; pour les minerais métallifères, neuf mines en activité et neuf abandonnées; pour les combustibles, une seule mine de lignite non exploitée; pour le sel, une mine, dix-sept lacs salés et huit sources salées exploitées; deux mines, deux lacs et quatre sources salés délaissés, sans compter divers gisements salins qui subviennent exclusivement aux besoins des indigènes.

Ces exploitations sont réparties en *groupes géographiques*, et les diagrammes de la production de ces divers groupes sont figurés par des circulaires colorées, à raison de 6 millimètres de diamètre pour 10,000 tonnes ($d = 6^{\text{mm}} \times \sqrt{\frac{9}{10\,000}}$).

La production totale de l'Algérie, en 1879, a été la suivante :

<i>Minerais de fer</i>	417,853 tonnes.
<i>Minerais métallifères</i> propres au traitement métallurgique	9,723
<i>Sel</i> tiré des lacs salés, des sources, sel gemme.	19,923
TOTAL	447,499

Les 9,723 tonnes de minerais métallifères correspondant

à l'extraction de 30.048 tonnes de minerais bruts se composent de :

Minerais	de cuivre.	6,482 tonnes.
	de plomb et argent	1,458
	de zinc	1,026
	d'antimoine	582
	de fer chromé	125
	de mercure	50

Un cercle divisé en six secteurs représente les poids proportionnels de ces divers minerais.

VIII.

CARTE STATISTIQUE DE LA DISTRIBUTION DES APPAREILS À VAPEUR
EN FRANCE POUR L'ANNÉE 1881.

Sur les 54.677 chaudières qui ont fonctionné en France en 1881 dans les établissements industriels de toute nature, en laissant de côté les appareils à vapeur employés sur les chemins de fer et sur les bateaux, on en compte 30,407, c'est-à-dire 55.6 p. o/o dans les treize départements dont les noms sont portés sur le tableau ci-dessous. Ces départements, dans lesquels les manufactures sont les plus nombreuses et les plus importantes, sont classés suivant le nombre des chaudières en activité : chacun d'eux en comprend plus de 1,000.

DÉPARTEMENTS ou ont fonctionné plus de 1.000 chaudières à vapeur.	ÉTABLISSE- MENTS.	CHAUDIÈRES motrices et CALORIFÈRES.	MACHINES.	
			NOMBRE.	FORCE en chevaux- vapeur.
Nord.....	3,380	7,128	4,903	99,583
Seine.....	4,361	5,919	4,700	43,749
Rhône.....	1,448	2,007	1,558	13,077
Loire.....	882	2,004	1,182	36,800
Seine-Inférieure.....	1,043	1,891	1,483	20,171
Pas-de-Calais.....	980	1,859	1,425	29,025
Bouches-du-Rhône.....	982	1,674	1,090	13,236
Saône-et-Loire.....	858	1,631	1,367	28,408
Aisne.....	940	1,457	1,147	14,272
Seine-et-Oise.....	1,015	1,358	1,221	12,240
Somme.....	762	1,264	1,260	14,334
Oise.....	745	1,166	1,144	11,561
Seine-et-Marne.....	800	1,049	1,012	8,883

Le Nord et la Seine viennent en tête de la liste; puis le Rhône, la Loire, la Seine-Inférieure, etc. Mais l'ordre change suivant qu'on considère le nombre des usines, celui des machines ou bien encore des chevaux-vapeur. C'est ainsi qu'au point de vue de la puissance motrice, la Loire, bien qu'elle ne renferme pas plus de 882 établissements où la vapeur ait été en usage, se place au troisième rang; le Pas-de-Calais occupe le quatrième; Saône-et-Loire, le cinquième; le Rhône seulement, le dixième.

Dans seize autres départements, il y a eu de 500 à 1,000 chaudières en activité; dans quarante-deux, de 100 à 500; dans seize, moins de 100.

Le meilleur moyen de se rendre compte de la façon dont la vapeur est employée dans les différentes régions de la

France consiste évidemment à examiner une carte contenant les principales données de la statistique. La carte exposée a été dressée dans ce but. On y voit figurés, pour chaque département, le nombre des établissements où des appareils à vapeur ont fonctionné en 1881, celui des chaudières et la puissance des machines. Des secteurs, de couleurs variées, permettent de saisir d'un coup d'œil la nature des branches industrielles auxquelles appartiennent les usines de chaque département, ainsi que leur importance au point de vue de la force motrice.

Un diagramme, établi à une échelle réduite et placé dans l'un des angles de la carte, représente les totaux pour les quatre-vingt-sept départements. Il montre que les industries minérales (si l'on comprend sous cette désignation les mines, les carrières et les usines métallurgiques) comprennent plus du tiers du nombre de chevaux-vapeur correspondant à l'ensemble des établissements (219,121 sur 576,424). La force motrice obtenue à l'aide de la vapeur se répartit en effet comme il suit :

Industries	minérales.....	38.0
	textiles (tissus et vêtements)...	18.8
	alimentaires.....	15.2
	diverses (fabrication d'objets mobiliers et d'habitation, d'instruments, bâtiments et travaux).....	10.8
	chimiques (y compris les teintures, impressions et papeteries)	9.9
	agriculture.....	7.3
	TOTAL.....	<u>100.0</u>

La carte met en relief la prépondérance industrielle des départements du Nord et de la Seine, pour ne citer que les deux principaux, et l'extrême inégalité de la distribution des appareils à vapeur, encore si peu répandus dans le sud-ouest de la France et dans les régions montagneuses. Si l'on tire une ligne droite du Havre à Montpellier, on divise le pays en deux régions d'une étendue analogue, dont l'une, celle de l'Est, se montre incomparablement plus industrielle que l'autre. C'est elle, en effet, qui renferme la plupart et les plus importantes de nos houillères, de nos mines de fer, de nos usines métallurgiques, et, à leur suite, de nos filatures, de nos tissages, de nos fabriques de sucre, de nos produits chimiques, etc.

D'un coup d'œil, on reconnaît quelle est, dans chaque département, la branche d'industrie la plus développée, à en juger par la force motrice empruntée à la vapeur. Cette carte fournit, en quelque sorte, un résumé géographique de la statistique des appareils à vapeur de la France envisagée au point de vue industriel. C'est la première qui se rapporte à ce sujet.

IX.

STATISTIQUE DÉTAILLÉE DES SOURCES MINÉRALES EXPLOITÉES OU AUTORISÉES AU 1^{er} JUILLET 1882.

Au point de vue de leurs propriétés curatives et de leur application aux malades, les eaux minérales font partie intégrante du domaine médical. Mais l'étude de leur origine souterraine, les travaux de captage souvent indispensables pour empêcher leur mélange avec les eaux superficielles,

les mesures administratives destinées à leur protection à laquelle s'attache un intérêt public, rentrent dans le cercle des connaissances spéciales et dans les attributions des ingénieurs des mines. Les médecins inspecteurs d'une part, les ingénieurs de l'autre, remplissent au nom de l'État une mission tutélaire : les premiers, à l'égard des malades, en contrôlant l'exploitation des eaux, préalablement assujetties à une autorisation rendue sur l'avis de l'Académie de médecine ; les seconds, à l'égard des propriétaires des sources, en déterminant les conditions du sous-sol qui nécessitent une protection et en assurant au besoin cette protection dans un certain périmètre fixé par décret.

Le rôle des uns et des autres est nettement défini par la législation actuelle, qui tient tout entière dans l'ordonnance royale du 18 juin 1823, la loi du 14 juillet 1856 et les deux décrets du 8 septembre 1856 et du 28 janvier 1860.

Bien que l'intervention des ingénieurs des mines n'ait pris un caractère légal qu'à dater de la loi de 1856, l'Administration des mines a compris les renseignements concernant les sources minérales dans le cadre de la statistique de l'industrie minérale dès 1834, et a publié en 1842, dans le compte rendu des travaux des ingénieurs des mines, un *Tableau général des sources minérales connues en France en 1840*. Elle a fait paraître trois ans après, dans le même recueil, un tableau analogue beaucoup plus complet et plus détaillé pour l'année 1844, sous le titre de : *Description physique des sources minérales connues en France*.

Mais ce travail ne fut plus renouvelé.

Les publications officielles relatives au même sujet sont très peu nombreuses. On peut citer, à ce titre, comme une

des plus anciennes, le *Catalogue raisonné*, accompagné d'une *Notice de toutes les eaux minérales du royaume*, publiée par Carrère, en 1785, d'après le vœu de l'Académie de médecine; de même, l'*Annuaire des eaux de la France pour 1851-1854*, rédigé par une commission spéciale suivant l'ordre du Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, annuaire dont le deuxième volume est consacré aux sources minérales, à leur description et à leur analyse; enfin, les *Rapports généraux au Ministre de l'agriculture et du commerce sur le service médical des eaux minérales de la France*, faits chaque année au nom de la Commission permanente des eaux minérales de l'Académie de médecine, après réception des rapports des médecins inspecteurs des établissements thermaux.

Il existe de nombreuses monographies, des guides et d'autres ouvrages se rapportant aux sources minérales.

L'application thérapeutique des eaux fait l'objet de toutes ces publications; aucune d'elles, à l'exception des tableaux dressés par les ingénieurs des mines en 1840 et en 1844, ne constitue une *statistique* proprement dite, et ne renferme dans un cadre uniforme et pour une année déterminée un ensemble de données numériques concernant l'exploitation des établissements thermaux.

Depuis lors, l'usage des eaux s'est singulièrement vulgarisé. Grâce aux facilités de locomotion dues à la construction des chemins de fer, ces établissements ont reçu presque partout de plus nombreux baigneurs et se sont agrandis. Des sources, autrefois ignorées, ont été aménagées et livrées à l'usage public, tandis que les malades ont délaissé un certain nombre de thermes autrefois en faveur.

Les changements survenus dans cet intervalle de trente-huit années ont paru motiver amplement un nouveau recensement de nos sources minérales. M. le Ministre des travaux publics a chargé de cette tâche les ingénieurs des mines, en confiant au service de la statistique de l'industrie minérale le soin de préparer le cadre du travail, de coordonner les renseignements recueillis et de les publier sous la forme la plus convenable.

Les noms des sources, ceux des départements et des communes où elles sont situées, la situation géologique des orifices qui leur livrent passage, leur nature au point de vue chimique, leur température, leur débit, leur mode d'administration, les noms des établissements thermaux, le nombre de baignoires et de piscines que chacun d'eux renferme, leur fréquentation par les malades, les localités auxquelles sont attachés des médecins inspecteurs, telles sont les principales indications de cette statistique.

Des recherches exécutées dans les archives du Ministère des travaux publics, de celui du commerce et des préfectures, sans parler du *Bulletin des lois*, ont permis d'y faire figurer accessoirement les dates des actes administratifs concernant chaque source, telles que l'autorisation ministérielle, le décret de déclaration d'intérêt public ou de fixation d'un périmètre de protection, avec l'étendue de ce périmètre.

Toutes les sources autorisées (sauf omission) y trouvent place. Dans ce nombre, celles qui ont cessé d'être exploitées et qui ne montent d'ailleurs pas à plus de 69, se distinguent des autres en ce que leur nom est en italiques; elles ne sont pas comprises dans les totaux, et ne figurent pas dans

le tableau final qui résume par département la *statistique des sources minérales exploitées au 1^{er} juillet 1882*.

Ce résumé fournit les totaux suivants :

En France, le recensement a indiqué 1,027 sources exploitées, réparties dans soixante-trois départements.

Au point de vue chimique, elles se divisent ainsi :

Sources. . .	{	sulfureuses	319
		alcalines	354
		ferrugineuses	135
		salines	219
		TOTAL	1,027

Sous le rapport de leur température, dont le minimum est de 6 degrés centigrades et le maximum de 81 degrés, on en compte 386 *froides* ou *tempérées*, c'est-à-dire dont la température n'excède pas 15 degrés, et 641 *thermales*, ayant une température supérieure à 15 degrés.

Le débit cumulé des sources dont le jaugeage a pu être effectué atteint 46,412 litres par minute, soit 65,000 mètres cubes par vingt-quatre heures.

Sur les 1,027 sources exploitées, 388 sont administrées exclusivement en boissons et 243 sous forme de bains; tandis que 396 servent à la fois à l'usage interne et à l'usage externe.

Les établissements dont elles font partie sont au nombre de 391, parmi lesquels 226 établissements balnéaires. Ces derniers comprennent 5,346 baignoires et 328 piscines. Le nombre des malades qui les ont fréquentés a été d'environ 220,000; et il y a lieu de remarquer qu'on laisse en

dehors tous ceux qui consomment des eaux minérales en bouteilles, sans se rendre auprès des sources : leur nombre doit être lui-même considérable, mais il n'est pas possible de le déterminer. D'autre part, il y a une foule de personnes qui se rendent aux eaux, soit pour accompagner les malades, soit pour leur agrément, et que l'on a en soin de ne pas compter dans le relevé susmentionné.

En Algérie, la statistique fournit des renseignements analogues aux précédents pour 47 sources exploitées dans 26 établissements, dont 23 comprennent des installations balnéaires, à savoir : 55 piscines plus ou moins rudimentaires et 32 baignoires.

Le volume dont l'analyse précède a été publié au commencement de l'année 1883.

Les publications et les cartes exposées dont on vient de donner un aperçu ont toutes été composées au moyen des renseignements que les ingénieurs des mines chargés des services départementaux ont recueillis et transmis à l'Administration centrale.

Le service de la statistique de l'industrie minérale et des appareils à vapeur, auquel incombe la tâche de les dépouiller et de les coordonner, relève de M. Leblanc, Conseiller d'État, Inspecteur général des ponts et chaussées, Directeur des routes, de la navigation et des mines. Il est dirigé par M. Keller, Ingénieur en chef des mines. — Chef de bureau, M. Odent; sous-chef, M. Sol; dessinateur, M. Le Toux.

ÉCOLE NATIONALE DES MINES.

INSTITUTION ET BUT DE L'ÉCOLE.

L'École nationale des mines, créée en 1778, puis rétablie à Paris en 1816, est placée dans les attributions du Ministre des travaux publics. Elle est spécialement destinée à former les ingénieurs que réclame le service confié par l'État au corps des Mines.

Toutefois, indépendamment des élèves *ingénieurs*, l'École reçoit aussi des élèves *externes*, des élèves *étrangers* et des élèves *libres*.

Les élèves *ingénieurs* sont pris exclusivement parmi les élèves sortant de l'École polytechnique et entrent seuls au service de l'État. Ils sont nommés par décret.

Les élèves *externes* sont spécialement préparés pour les positions si variées qu'offre l'industrie, et surtout appelés à devenir ingénieurs ou directeurs d'exploitations de mines et d'usines métallurgiques.

Leur admission a lieu par voie de concours, conformément au double programme ci-joint.

Les élèves *étrangers* sont admis par décision du Ministre, sur la demande des ambassadeurs ou chargés d'affaires des puissances étrangères, sous la condition de subir avec succès un examen de capacité devant MM. les Commissaires du concours d'admission : cet examen a lieu à l'École des mines, une fois par an, pendant la dernière quinzaine d'octobre.

Les élèves *libres* sont, sur leur demande personnelle, simplement autorisés par le Ministre à suivre les cours et

exercices pratiques de l'École des mines. Les élèves externes, les élèves étrangers et les élèves libres sont admis à l'École à titre complètement gratuit; ils sont seulement tenus de verser au secrétariat de l'École une masse de 35 francs destinée à solder les dégâts de toute nature qui leur seraient attribués.

L'enseignement est commun aux diverses catégories d'élèves; toutefois les élèves étrangers et libres ne peuvent participer aux exercices pratiques que dans la mesure du nombre des places disponibles au laboratoire et dans les salles de dessin.

A la fin de chaque année scolaire, les élèves ingénieurs et les élèves externes subissent des examens sur les cours suivis. Ces examens sont facultatifs pour les élèves étrangers. Les élèves libres ne sont pas admis à ces épreuves.

A la sortie de l'École, les élèves ingénieurs sont nommés ingénieurs ordinaires de 3^e classe; les élèves externes qui justifient des connaissances nécessaires reçoivent un brevet et sont autorisés à porter le titre d'*élèves brevetés de l'École nationale des mines de Paris*.

Aux élèves étrangers on délivre simplement des certificats d'études.

COURS PRÉPARATOIRES.

Pour faciliter l'admission aux places d'élèves externes, des cours *préparatoires* ont été institués à l'École nationale des mines, par décision ministérielle du 26 décembre 1844. Ces cours sont suivis par deux catégories d'élèves :

Les élèves *titulaires des cours préparatoires* admis après

concours par le Ministre, et les élèves *libres, français ou étrangers*, simplement autorisés par le Ministre, sur demande personnelle.

Les premiers sont seuls astreints à subir, à la fin de l'année scolaire, un examen sur les diverses parties de l'enseignement.

Les candidats aux places d'élèves titulaires des cours préparatoires doivent remplir les conditions fixées par le programme ci-joint. (Cours préparatoires.)

L'enseignement préparatoire se compose de quatre cours et d'exercices pratiques.

Les cours comprennent :

1° Des notions d'analyse infinitésimale et la mécanique ;

2° La géométrie descriptive, pure et appliquée ;

3° Les parties de la physique qui traitent plus spécialement des gaz et des vapeurs, de la chaleur et des instruments d'optique ;

4° La chimie générale.

Deux de ces cours comportent 25 à 30 leçons, et les deux autres 55 à 60 leçons, professées du 7 novembre à la fin de mai.

Le programme des cours n'est autre que celui des connaissances exigées pour l'admission aux places d'élèves externes, sauf la géographie et la cosmographie.

Les exercices pratiques consistent en dessin géométrique et lavis.

COURS DE L'ÉCOLE NATIONALE DES MINES.

L'enseignement de l'École nationale des mines a pour objet spécial l'exploitation des mines et le traitement des substances minérales.

Il embrasse trois années d'études, et comprend, outre les leçons orales, des exercices pratiques et des voyages d'instruction.

Les élèves de *1^{re} année* suivent les sept cours d'exploitation des mines et machines, de métallurgie, de docimasia, de minéralogie, de géologie, de paléontologie et de lever des plans :

Les élèves de *2^e année*, la deuxième partie des quatre cours d'exploitation et machines, de métallurgie, de docimasia et de géologie ;

Les élèves de *3^e année*, les cinq cours de constructions, de chemins de fer, de droit administratif et économie industrielle, d'agriculture et géologie technique, et de fortification militaire.

L'enseignement oral comprend en outre l'allemand et l'anglais : les élèves sont astreints à suivre l'un ou l'autre de ces deux cours de langues étrangères.

Les cours s'ouvrent, chaque année, du 7 au 15 novembre, et se ferment du 7 au 15 avril. Ils sont suivis d'examens qui se terminent à la fin du mois de mai.

Les exercices pratiques sont ainsi répartis :

Pendant la durée des cours, les élèves de *1^{re}*, de *2^e* et de *3^e* année travaillent alternativement au laboratoire, où ils s'occupent spécialement d'analyses chimiques, et dans les

salles de dessin, où ils exécutent des projets relatifs à la métallurgie ou à l'exploitation des mines ; ils étudient les collections de l'École nationale des mines, visitent quelques usines et ateliers des environs de Paris, et font un certain nombre de courses géologiques.

Après les examens du mois de mai, les élèves de 1^{re} année sont exercés aux analyses chimiques jusqu'au 15 juillet, et au lever des plans jusqu'au 15 août. Au 15 août, ils entrent en vacances, mais ils sont tenus de faire, en septembre ou octobre, un séjour de trois semaines dans l'un des principaux districts miniers et métallurgiques de la France ou de la Belgique.

Dans la première quinzaine de juin, les élèves de 2^e année font, sous la direction du professeur, une excursion géologique un peu lointaine ; puis visitent, en été, divers districts de mines et d'usines, d'après un programme arrêté par le conseil de l'École. A leur retour, ils rendent compte de leurs observations dans des rapports ou mémoires pourvus de dessins et de croquis cotés.

Enfin les élèves de 3^e année ont à dresser, d'après des bases fixées par le conseil de l'École, deux projets de concours d'exploitation et un projet de métallurgie ; et, pour clore la troisième année scolaire, les élèves ingénieurs font un deuxième voyage d'instruction, d'environ cent jours, au retour duquel ils ont également à rédiger des mémoires ou rapports sur les divers établissements désignés à leur attention.

Le deuxième voyage est facultatif pour les élèves externes.

ORDRE INTÉRIEUR.

Les élèves sont tenus de rester chaque jour à l'École pendant tout le temps consacré aux cours et aux exercices pratiques; ils ne peuvent quitter l'École avant l'heure fixée qu'avec l'autorisation de l'inspecteur des études et du directeur.

Des appels constatent l'arrivée des élèves à l'heure prescrite et leur présence dans le cours de la journée.

Aucun élève ne peut s'absenter, pour un ou plusieurs jours, sans l'autorisation du directeur de l'École ou de l'inspecteur.

Il est attribué aux élèves, pour leur assiduité aux cours et aux exercices pratiques, des points qui concourent à leur classement définitif: la perte, par défaut d'assiduité, d'un nombre fixé de ces points peut entraîner l'exclusion de l'École.

EXAMENS.

Des examens ont lieu, à la fin de l'année scolaire, sur chacun des cours, y compris les langues étrangères (allemand et anglais).

Ils comprennent tous, outre l'examen oral, une composition écrite.

Le passage d'une division dans une autre et le classement définitif des élèves, au moment de leur sortie, dépendent du nombre de points obtenus dans l'ensemble de toutes ces épreuves, y compris l'assiduité aux cours et les notes méritées dans les exercices pratiques.

A leur sortie de l'École, les élèves ingénieurs choisissent, dans l'ordre du classement définitif, parmi les résidences ou emplois vacants; les élèves externes qui ont subi convenablement les épreuves requises reçoivent le *brevet* dont il a été question au commencement de la présente note.

Des prix sont distribués aux élèves ingénieurs et aux externes qui se sont distingués par leurs travaux à l'École ou par leurs journaux de voyage. Il en est fait mention dans les brevets.

L'Administration de l'École ne garantit pas le placement des élèves externes; mais, par son entremise et ses relations, elle réussit, en général assez vite, à procurer des positions plus ou moins avantageuses à tous les élèves qui ont obtenu un bon classement.

BUREAU D'ESSAIS POUR LES SUBSTANCES MINÉRALES.

Un bureau d'essais pour les substances minérales est établi près du laboratoire de l'École nationale des mines depuis 1845; il est dirigé, ainsi que le laboratoire, par le professeur du cours de docimasie; il a pour mission spéciale de faire les analyses de substances minérales demandées par les industriels, maîtres de forges, exploitants de mines, etc. Toute personne désirant obtenir une analyse doit déposer les échantillons à essayer à l'École nationale des mines, en donnant l'indication de la localité d'où ils proviennent et, s'il se peut, des circonstances de leur gisement. Aucune rétribution n'est due pour les essais. Tous les ans, un compte rendu des travaux du bureau d'essais est inséré au *Journal officiel*.

NOMENCLATURE DES DOCUMENTS

PRÉSENTÉS PAR L'ÉCOLE NATIONALE DES MINES.

MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS. — ÉCOLE NATIONALE DES MINES. — Institution et but de l'École. Programme d'admission. Paris, 1879. 1 vol. in-4°.

DAUBRÉE. — Études synthétiques de géologie expérimentale. Paris, Dunod, 1879. 1 vol. in-8°.

GALLON (J.). — Cours professé à l'École des mines.
1^{re} partie : Machines.

2^e partie : Exploitation des mines. Paris, Dunod, 1873 à 1879 : texte, 6 vol. in-8°; atlas, 2 vol. in-folio.

GRUNER. — Traité de métallurgie. Paris, Dunod, 1875-1878 : texte, 2 vol. in-8°; planches, 1 vol. in-folio.

DUPONT (E.). — Traité pratique de la jurisprudence des mines. Paris, Dunod, 1862, 3 vol. in-8°.

DUPONT (E.). — Cours de législation des mines. Paris, Dunod, 1881, 1 vol. in-8°.

MALLARD (E.). — Traité de cristallographie géométrique et physique. Paris, Dunod, 1879; texte, 1 vol. in-8°; planches, 1 vol. in-8°.

CARNOT. — Phosphates de chaux de la France analysés au bureau de l'École nationale des mines, de 1845 à 1877. Paris, Dunod, 1 vol. in-4°.

CARNOT. — Minerais de fer de la France et de l'Algérie analysés au bureau d'essais de l'École nationale des mines de 1845 à 1877. Paris, Dunod, 1878, 1 vol. in-4°.

CARNOT. — Eaux minérales et eaux potables de la France analysées au bureau d'essais de l'École des mines de 1845 à 1877. Paris, Dunod, 1878, 1 vol. in-4°.

CARNOT. — Histoire du laboratoire de l'École des mines. Paris, Dunod, 1882.

AGUILLOU. — Rapport sur la rupture des câbles de mines. Paris, Dunod, 1881.

COMMISSION D'ÉTUDE
DES MOYENS PROPRES À PRÉVENIR LES EXPLOSIONS DE GRISOU.

Cette commission, instituée par la loi du 26 mars 1877, a fonctionné pendant quatre ans. Les principaux résultats de ses études, des expériences exécutées par plusieurs de ses membres et les principes à consulter qu'elle a formulés sont consignés dans les ouvrages suivants :

Extraits des procès-verbaux autographiés, 1 vol. in-8°.

Pièces annexées aux procès-verbaux des séances, 1 vol. in-8°.

Rapport de M. HATON DE LA GOUTTEILLIÈRE sur un ensemble de documents adressés à la Commission du grisou en réponse à l'envoi du rapport qui a servi de point de départ à ses travaux, 1 vol. in-8°.

Rapport de M. DE SOUTER sur la réglementation des mines à grisou, 1 vol. in-8°.

Rapport de mission fait à la Commission chargée de l'étude des moyens propres à prévenir les explosions de grisou dans les houillères en Belgique, en Angleterre et en Allemagne, par MM. PERNOLET et AGUILLOX, 3 vol. in-8°, 1881.

Principes à consulter dans l'exploitation des mines à grisou, 1 vol. in-8°.

Rapport présenté au Ministre des Travaux publics au nom de la Commission d'étude des moyens propres à prévenir les explosions de grisou, 1 vol. in-8°, 1882.

ÉTUDES SYNTHÉTIQUES
DE
GÉOLOGIE EXPÉRIMENTALE,

PAR M. DAUBRÉE,

Membre de l'Institut de France, directeur de l'École nationale des Mines.

Les études synthétiques de géologie expérimentale se composent de deux parties :

La première partie du volume montre les résultats d'expériences destinées à expliquer divers *phénomènes géologiques* : les uns chimiques et physiques, les autres mécaniques. Les premiers se rattachent à l'histoire des dépôts métallifères, à celle des roches cristallines, métamorphiques et éruptives, ainsi qu'au mécanisme des volcans. Dans les phénomènes de la seconde catégorie figurent la formation des galets, du sable et du limon, ainsi que d'autres effets de trituration et de transport ; le mécanisme des déformations et des cassures terrestres, telles que les failles et les joints congénères ; l'origine de la schistosité des roches, les déformations de fossiles et certains traits de la structure des chaînes de montagnes associés à la schistosité ; enfin la chaleur qui a dû se développer dans les roches par les actions mécaniques.

Les météorites qui nous parviennent des espaces célestes offrent de telles ressemblances avec diverses masses terrestres, qu'elles se rattachent, par des liens d'une intimité surprenante, à l'histoire de notre globe. Elles constituent une sorte de trait d'union entre la géologie et l'astronomie.

et leur étude forme un chapitre important de l'histoire de l'univers, que l'on peut qualifier de *géologie sidérale*. Leur ressemblance avec certaines roches d'origine profonde, qui avait été établie par de nombreux caractères, ainsi qu'au moyen d'expériences les faisant dériver les unes des autres par une simple action réductive, a été clairement démontrée par la découverte faite au Groënland de masses qu'on avait d'abord supposées d'origine extra-terrestre, mais que depuis on a reconnues provenir des régions profondes de notre planète. Il a donc paru convenable de résumer dans la seconde partie de cet ouvrage, sous le titre d'*Application de la méthode expérimentale à divers phénomènes cosmologiques*, les expériences qui ont été faites pour rendre compte de la constitution des météorites, ainsi que des caractères essentiels des bolides qui nous les apportent. De même que les problèmes relatifs à la géologie, ces questions ont été étudiées expérimentalement, au double point de vue de la chimie et de la mécanique.

Parmi ces études, il en est qui peuvent offrir un intérêt spécial dans une exposition minière. Ce sont celles qui concernent les failles et cassures de divers ordres, ainsi que le mécanisme par lequel beaucoup de gîtes métallifères sont venus se constituer.

Au premier point de vue figure l'*imitation des failles et des joints congénères, dans leurs formes, leur parallélisme et leur répartition en systèmes orthogonaux ou conjugués*.

Principaux faits acquis par l'observation relativement aux failles et aux joints. --- Les failles ont

fixé tout naturellement l'attention des mineurs, depuis que Werner, à la fin du siècle dernier, a démontré que les filons métalliques doivent naissance à leur remplissage. Dans de nombreux districts de filons, elles ont été étudiées dans leurs moindres détails, et elles ont été figurées d'une manière très instructive, tant dans les projections horizontales que dans les coupes verticales. En outre, dans les mines de houille, elles arrêtent à chaque instant le champ d'exploitation, à cause du déplacement relatif des couches qui s'est produit le long des parois; aussi, dans un grand nombre de bassins houillers, leurs caractères ont-ils été étudiés géométriquement de la manière la plus précise, et il n'en est guère qui n'aient fourni à cet égard des renseignements caractéristiques. Ici encore, la pratique a fourni des données précieuses pour la théorie.

En dehors des exploitations de mines, les failles ont été aussi fort étudiées, car elles jouent un rôle de premier ordre dans l'écorce terrestre, qu'elles divisent en innombrables compartiments, en des sortes de voussoirs; elles forment comme des linéaments auxquels se coordonnent les traits du relief terrestre.

Les fissures que l'on a désignées sous le nom de *joints*, quoique de dimensions en général moindres que les failles, ont été aussi remarquées depuis longtemps, soit à cause de leur grand nombre, soit surtout dans les cas où elles s'entrecoupent par systèmes parallèles et assez réguliers pour simuler une cristallisation. Ces dispositions, que l'on a nommées *pseudo-régulières* à cause de cette ressemblance, se rencontrent dans des roches de natures variées. Tels sont particulièrement le quartzite, le grès quartzeux, le phyllade.

le calcaire, la houille et le granit, où les parallélépipèdes sont souvent rectangulaires. Il n'est pas rare que les joints permettent de diviser la roche en polyèdres très petits, de manière à rappeler ce qui arrive dans le clivage des cristaux proprement dits.

Sans présenter cette disposition en parallélépipèdes, les joints peuvent offrir une symétrie remarquable : tel est le cas pour les polyèdres de granit que Ramond rencontra au sommet du mont Perdu, dont il mesura les angles avec soin et qu'il figura comme pouvant être des produits de cristallisation.

Ailleurs, les joints se coupent sans régularité apparente, mais ils sont si nombreux, que l'on ne peut obtenir de cassures fraîches de la roche, lors même qu'on l'a divisée en très petits fragments ; tel est, par exemple, le calcaire crétacé dans une partie de la chaîne des Corbières.

Quelque nombreuses que soient les études dont les failles ont été de toute part l'objet, tant dans leur forme que dans leur mode de groupement, la cause de ces grandes fractures reste encore inconnue.

Des suppositions vagues ont été émises à leur égard : on les a attribuées, par exemple, à des actions moléculaires exercées sur l'enveloppe externe du globe par les masses chaudes et pâteuses qui la supportent. C'est principalement à cause de cette obscurité que de Bouchepon a été conduit à chercher l'explication de leur parallélisme si caractéristique dans une hypothèse des plus hardies, en les attribuant à des ruptures opérées parallèlement à d'anciens équateurs que notre planète aurait successivement possédés dans ses changements d'axe de rotation,

La même ignorance règne sur l'origine des joints. Les explications qu'on a essayé d'en donner peuvent se réduire à trois : une sorte de cristallisation, un retrait, des actions mécaniques.

C'est avec fondement qu'on a attribué à des actions mécaniques les joints de la catégorie de ceux qui nous occupent.

1° La constance, sur de grandes étendues, de l'orientation de certains systèmes de joints a été déjà constatée par Sedgwick, de la Bèche, Philipps et d'autres. De plus, il a été reconnu, en Cornouailles, que ces joints conservent leur direction en passant du granit dans les schistes. Après avoir observé ces deux faits avec la perspicacité qui le caractérisait, de la Bèche en avait conclu que les joints ne pouvaient résulter d'un retrait, et il les attribuait à des actions polaires, comme on le faisait alors pour la schistosité. Si l'on tient compte de ce que l'on sait aujourd'hui, cette permanence d'orientation dans les joints doit, au contraire, les faire rapprocher des failles, dont l'origine mécanique n'est pas mise en doute et qui jouissent d'une indépendance du même genre.

On sait, d'ailleurs, que dans beaucoup de contrées les joints se rattachent, par divers intermédiaires, aux failles proprement dites.

2° La direction des joints dans l'Yorkshire a été l'objet d'un grand nombre d'observations de la part d'un autre éminent géologue, John Phillips, qui les a rassemblées dans une rose des directions; il en résulte que deux directions prédominent beaucoup par rapport aux autres, et que ces deux directions sont perpendiculaires entre elles.

3° Un fait caractéristique est consigné dans un mémoire très intéressant de M. Harkness sur les joints des environs de Cork (Irlande), c'est que dans leur voisinage les fossiles sont déformés et distordus, caractère signalé aussi dans d'autres localités et rappelant des efforts mécaniques.

C'était déjà un résultat important que d'être arrivé à considérer les joints comme des effets de rupture, de même que les failles qui en diffèrent surtout par leurs dimensions. Toutefois, jusqu'à présent, on n'avait pu formuler que des conceptions très vagues sur la cause de ces ruptures. Ainsi M. Harkness, après avoir dit que le calcaire carbonifère des environs de Cork a été soumis à des forces considérables qui en ont infléchi et contourné les couches, estime que ces forces ont, en même temps, déterminé certains systèmes de joints et un clivage ; cependant, il ajoute que de simples pressions ne peuvent rendre compte de l'ensemble complexe de joints qui se rencontrent fréquemment dans les calcaires.

4° Il est encore un caractère qu'il convient de ne pas perdre de vue et qui vient s'ajouter aux considérations précédentes en faveur de l'origine mécanique des joints.

Lorsque les joints traversent des poudingues ou des conglomérats, on remarque fréquemment qu'en se produisant ils coupent en deux, de la manière la plus nette, les cailloux de quartz ou de porphyre qu'ils rencontrent. Ce fait, que j'ai eu occasion de constater très souvent dans le grès des Vosges, par exemple dans les escarpements qui forment le sommet du Schneeberg, est très fréquent dans le conglomérat porphyrique, en forme d'obélisques, qui supporte le vieux château de Baden-Baden. Sur les faces

des cailloux ainsi tranchés, on remarque souvent un enduit de quartz cristallisé. On peut encore citer comme fait analogue le conglomérat de l'*Old red sandstone*, de Waterford (Irlande). Une action énergique, tranchante ou de cisaillement, s'est donc opérée lors de la formation des joints.

En résumé, le trait caractéristique qui se manifeste dans d'innombrables fissures de l'écorce terrestre, c'est un parallélisme qui se reproduit dans les grandes comme dans les petites fractures, dans les failles comme dans les joints. Or, ce fait fondamental n'avait pas encore pu être reproduit par l'expérience.

L'analogie qui montre dans les joints une sorte de diminutif des failles faisait espérer que le problème général pouvait être abordé expérimentalement, bien que ces dernières surfaces de rupture dépassent souvent des dizaines de kilomètres.

Cassures produites sur une croûte mince par un mouvement ondulatoire. — Un procédé que j'ai d'abord employé consiste à se servir d'un mouvement ondulatoire, qui brise une plaque très mince à travers laquelle il se propage. Ainsi, si l'on fait vibrer un vase rectangulaire contenant une dissolution de bicarbonate de chaux, à la surface de laquelle s'est concrétée, par décomposition, une pellicule de calcaire, on voit cette sorte de membrane se déchirer. Les ondulations se propagent parallèlement aux petits côtés; il se produit des déchirures, dont les principales ont une tendance à épouser les directions des bords du vase et par conséquent à être perpendi-

culaires entre elles. Mais ce résultat, tout en méritant l'attention, n'explique pas les principaux faits géologiques qui viennent d'être rappelés.

Trois autres procédés ont eu pour but de reproduire les cassures terrestres dans leurs caractères principaux; deux d'entre eux ont même permis d'imiter les failles et leurs joints congénères, dans leur forme, leur association, leur parallélisme et leur répartition en systèmes orthogonaux ou conjugués. Ceux-ci mettent en œuvre une torsion et une déformation par simple pression. Dans le troisième, la cassure est consécutive de ploiements.

Cassures obtenues par torsion. — Ce qui m'a guidé, c'est l'idée préconçue qu'en infléchissant une plaque mince, d'abord plane, de manière à lui donner la forme d'une surface réglée, on arriverait à la briser suivant des lignes droites qui seraient en rapport avec les génératrices de cette nouvelle surface.

Une plaque de la substance à examiner, en forme de rectangle très allongé, est saisie, par l'un de ses petits côtés, entre deux mâchoires de bois serrées à vis, formant comme un étau (fig. 1); l'autre extrémité est encastrée dans un tourne-à-gauche, où elle est également calée avec une interposition de carton.

En faisant mouvoir le tourne-à-gauche autour d'un axe horizontal, on détermine une torsion qui ne tarde pas à provoquer une rupture.

Une première série d'essais faits sur des plaques de gypse ayant 12 millimètres d'épaisseur ont donné un petit nombre de cassures; cependant, dans certains cas, on a obtenu des

cassures ayant une tendance marquée à être parallèles entre elles, tandis que d'autres leur étaient à peu près perpendiculaires.

Avec les plaques de glace, les essais ont été plus heureux. Ces plaques ont 80 à 90 centimètres de longueur sur 350 à 420 millimètres de largeur et 7 millimètres

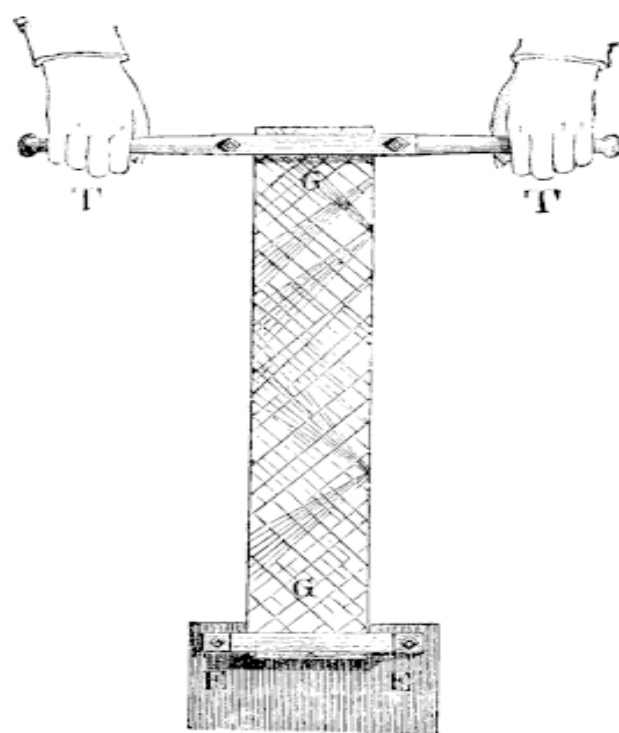


Fig. 1. — Appareil destiné à produire la rupture d'une lame de glace par torsion.

d'épaisseur. Pour chaque expérience, la plaque était enveloppée de papier collé qui empêchait les fragments produits de se séparer; sans cette précaution, il eût été bien difficile de constater la disposition des fractures.

Dans chacune de ces plaques rectangulaires de glace, il se produit, en même temps que la rupture, des fissures en très grand nombre. Malgré leurs courbures et leurs inflexions, ces fissures présentent dans leur ensemble une disposition dans la-

quelle on ne tarde pas à distinguer une régularité géométrique (fig. 1). Cette régularité ressort surtout si l'on se place à quelque distance de la plaque, ou si, au lieu de considérer une plaque unique, on en examine une série, de manière à prendre en quelque sorte une moyenne des

résultats. Malgré des irrégularités, on reconnaît immédiatement l'existence de deux systèmes de directions, également inclinés sur l'axe de torsion. Sur chacun d'eux apparaissent cependant des groupes rayonnés, en éventails aigus, dont les rayons sont respectivement parallèles entre eux.

Tandis que la plupart des cassures traversent toute la plaque, quelques-unes se perdent dans l'intérieur; d'autres s'arrêtent brusquement à des figures conjuguées, au delà desquelles elles ne se prolongent pas, formant ainsi des séries de tronçons en échelons, disposition très fréquente dans la nature.

1° Les fissures dont il s'agit consistent en surfaces gauches, de formes assez variées, dont les traces sur les grandes faces de la plaque, que je désignerai sous le nom d'*affleurements*, s'éloignent peu d'une ligne droite et ont une tendance évidente au parallélisme.

2° De plus, ces fissures se groupent suivant deux directions ou systèmes que l'on peut qualifier de conjugués, et constituent ainsi un réseau dont les mailles sont plus ou moins serrées, suivant les plaques; on y aperçoit beaucoup de croisements donnant naissance à des losanges.

En général, les deux systèmes conjugués se croisent sous des angles très ouverts, dont la valeur paraît dépendre des dimensions relatives des deux côtés de la plaque; cet angle, qui est souvent voisin de l'angle droit, se réduit, dans d'autres cas, à 70 degrés et même à moins.

3° Les intersections ou nœuds formés par les fissures principales de ce réseau ont une tendance à se répartir suivant des droites parallèles aux grands bords de la plaque. Dans les conditions où l'on a opéré, lorsque ces droites ne

sont qu'au nombre de deux, elles sont ordinairement à une faible distance des bords; lorsqu'elles sont au nombre de trois, l'une d'elles se confond avec la ligne médiane, et les deux autres sont symétriques par rapport à elle. Les dessins en zigzag qui correspondent à chacun de ces deux types sont très réguliers.

4° Si l'on considère la manière dont la surface de chacune de ces fissures est inclinée sur les grandes faces, on voit que pour une même fissure la ligne de plus grande pente est très variable, et, de plus, qu'elle varie de sens. Ce sont des inflexions comme il s'en rencontre souvent dans les failles. L'inclinaison varie également beaucoup : elle peut atteindre au moins 50 degrés de chaque côté de la verticale ¹.

Toutes ces circonstances se trouvent approximativement représentées géométriquement si l'on considère la surface de ces fissures comme un parabolôïde ou comme un plan-gauche.

5° Dans certains groupes de fissures, il est une sorte de parallélisme qui se manifeste, non seulement pour leurs traces, mais aussi pour les surfaces elles-mêmes. Un certain nombre de fissures, six, huit, ou même plus, participent à ce parallélisme, comme il arrive dans la nature.

6° Sur diverses plaques, au lieu d'une fissure unique, il s'est formé un groupe de fissures dessinant un éventail peu ouvert; on en voit plusieurs qui partent d'un point unique et sont comprises sous un angle de moins de 25 degrés.

7° Parmi les fissures dont il vient d'être question, il en

¹ Près des bords de la plaque, la fissure se rapproche ordinairement de la direction normale.

est, mais en petit nombre, qui ont déterminé la séparation complète ou une véritable cassure. Pour la plupart, il y a encore adhérence; ce sont de simples fissures présentant elles-mêmes plusieurs types : tantôt elles traversent la plaque sur toute sa longueur; tantôt, coupées et déviées par d'autres fissures, elles n'occupent qu'une partie de la plaque; tantôt l'une de leurs extrémités n'atteint ni les bords ni une autre fissure et se perd dans la masse; tantôt enfin ces fissures sont tout à fait *intérieures*, c'est-à-dire qu'elles n'arrivent nulle part jusqu'à la surface de la plaque.

Les fissures appartenant à ces divers types, particulièrement les plus courtes et les plus fines, ainsi que les cassures proprement dites, sont soumises aux conditions générales de parallélisme qui viennent d'être énoncées.

8° En outre, en examinant avec attention certaines plaques de glace, on reconnaît à la surface des lignes droites très fines, comme des traits de burin, qui sont parallèles aux fissures et souvent plus régulières que celles-ci. Elles correspondent à des fêlures extrêmement fines; la réflexion qui s'opère sur leurs parois les fait apercevoir, à peu près comme il arrive dans certains cristaux très clivables ou dans les pierres gemmes, où on les désigne sous le nom de *glaces*. Ce sont des indices d'une sorte de clivage, dont on peut constater directement l'existence par le choc; il apparaît alors des faces planes et parallèles, ordinairement perpendiculaires aux grandes faces des plaques.

Soumises à l'action de la lumière polarisée, ces fissures naissantes présentent sur leurs bords, et surtout vers leurs extrémités, des indices d'illumination extrêmement nets et souvent très énergiques.

Cassures obtenues par une simple pression. —

Chaque jour on soumet, dans un but pratique, des pierres à une forte pression, et l'on sait alors comment s'opèrent les ruptures. En général, une pierre taillée en forme de cube a une tendance à se briser suivant des pyramides. Cependant les pierres dites *dures*¹ peuvent donner les fissures perpendiculaires au plan de pression et souvent à peu près parallèles. Mais le degré de consistance de la masse a beaucoup d'influence sur les résultats.

Les corps à la fois cassants et flexibles, dans les cassures qu'ils éprouvent par glissement, me paraissent devoir attirer l'attention du géologue.

De même que lorsqu'il s'était agi de produire des ploiements, j'ai expérimenté sur des substances de cette sorte, de manière à me rapprocher le plus possible des phénomènes naturels. C'étaient des mélanges de plâtre et de cire d'abeilles avec une certaine quantité de résine, constituant un mélange analogue à ce que l'on connaît sous le nom de *mastic à mouler*. Des expériences ont été faites à l'aide de la presse hydraulique sur des prismes formés de ce mastic. Ces prismes, à base carrée, avaient été fondus avec beaucoup de soin, de manière à être aussi homogènes et aussi exempts de cavités que possible, puis régularisés, après la fusion, par un rabotage, afin que leurs faces fussent bien rectangulaires; ils avaient 14 centimètres de côté sur 30 à 33 centimètres de hauteur. Les plaques de pression avaient exactement les dimensions des bases de prismes,

¹ Le calcaire crétacé de Granas (Ardèche) est dans ce cas, ainsi que les calcaires carbonifères exploités.

afin qu'à la suite de la rupture certains déplacements pussent se produire.

1° La pression détermine bientôt une fente presque plane et oblique à cette pression (fig. 2); l'incidence sur la

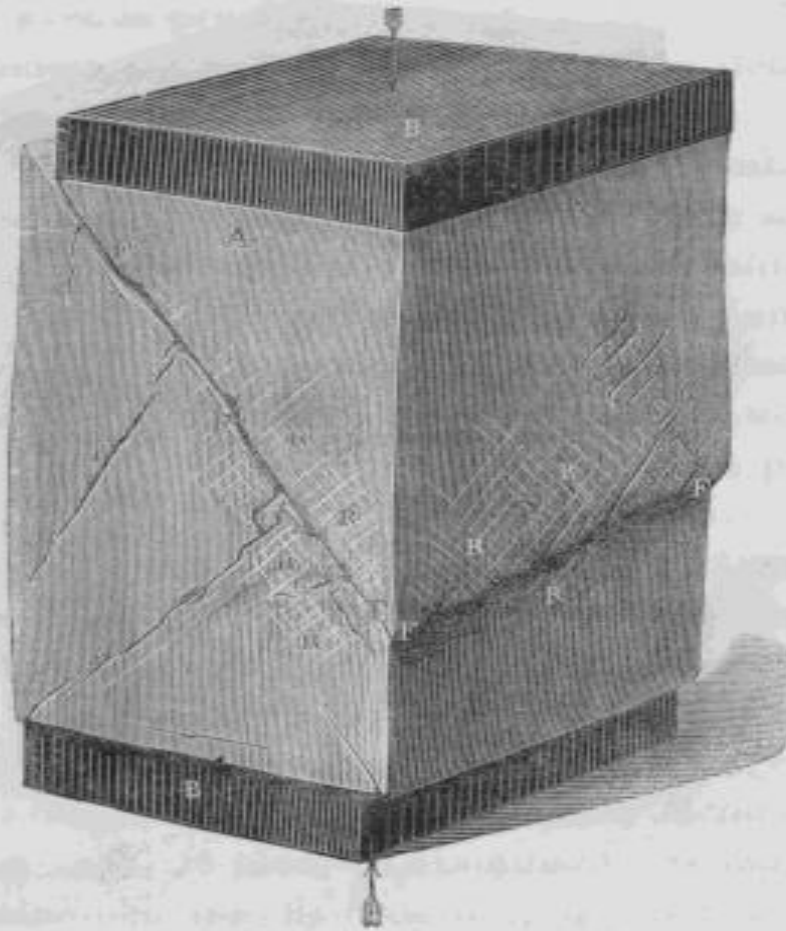


Fig. 2. — Prisme de cire à mouler soumis à l'action de la presse hydraulique suivant le sens vertical.

verticale ne s'éloigne pas beaucoup de 45 degrés. Cette fente, partant de l'une des arêtes horizontales supérieures, s'agrandit graduellement, jusqu'à ce qu'elle ait gagné la face

opposée, de manière à détacher un prisme triangulaire. Puis un glissement commence à se produire sur le plan incliné qui vient de se former, et cette dénivellation continue, si

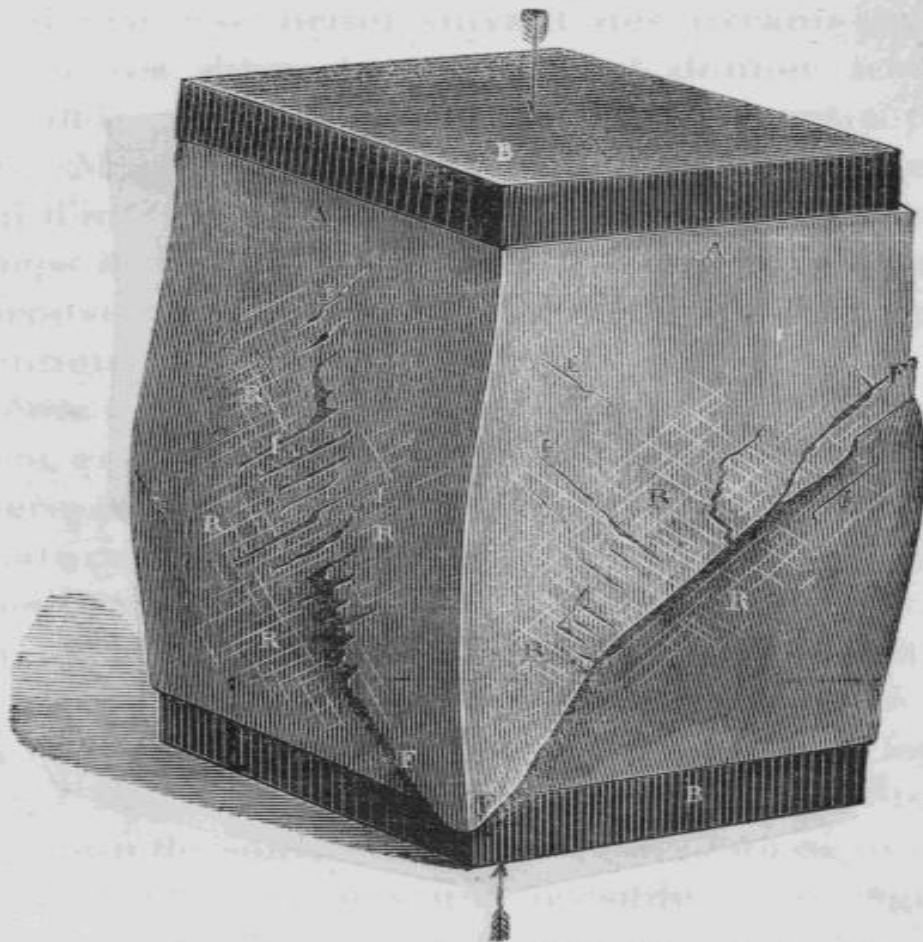


Fig. 3. — Prisme de cire à mouler soumis à l'action de la presse hydraulique, suivant le sens vertical.

l'on n'arrête pas l'expérience pour examiner les effets produits. La face de rupture, au lieu d'être tout à fait plane, présente des aspérités; il en résulte, après le rejet, des

alternatives de renflement et d'étranglement, comme en offrent la plupart des filons métallifères.

Une seconde cassure (fig. 3), également oblique et symétriquement placée par rapport à la première, s'est formée à partir de l'arête inférieure, et s'est prolongée jusqu'à sa rencontre avec la précédente.

Quelquefois, de ces fentes principales se détachent des ramifications ou branches.

2° Outre les fentes principales, une très nombreuse série de fissures rectilignes et parallèles se manifeste sur chacune des faces, qui, dans une partie de leur étendue, se sont légèrement bombées (fig. 2 et 3), par suite d'un commencement d'écoulement de la substance. Ces fissures n'ont qu'une épaisseur très faible; beaucoup ne se décèlent que par des lignes si fines et si régulières qu'on pourrait les croire tracées au burin.

Ces fissures se groupent suivant des directions qui sont parallèles aux fentes principales et sont à peu près rectangulaires entre elles; elles forment un réseau à mailles serrées. Toutes fines qu'elles sont, elles sont fort nettes; elles sont aussi fort nombreuses; car on peut en compter de 60 à 70 dans chaque direction, sur une étendue de 90 à 120 millimètres. De plus, en examinant à la loupe, on distingue, au milieu des fissures très apparentes, des traits plus fins, exactement parallèles aux premiers et non moins réguliers que ceux-ci. Le tout rappelle un quadrillé ou un tissu formé de fils ténus et disposés rectangulairement.

La masse ainsi fendillée est devenue clivable.

Tandis que les fentes principales sont comparables aux failles, les fissures plus ou moins fines peuvent être assi-

milées aux faces de joint et de clivage, si fréquentes dans les roches. Les fissures fines, disposées en réseau, résultent d'un commencement d'écoulement de la substance et des glissements qui ont accompagné les déformations de la masse, quelque faibles que soient ces dernières. En certaines parties, la division de la masse se fait en fragments prismatiques et peu adhérents qui, ainsi désagrégés suivant des alignements généraux, sont comme préparés à une démolition ultérieure.

3° En outre, la déformation fait naître quelques déchirures béantes ou gerçures, qui se rattachent par le parallélisme aux fentes et fissures simultanément produites.

4° Toutes ces fissures de divers ordres se groupent nettement suivant deux systèmes parallèles aux fentes principales; elles sont inclinées d'environ 46 degrés sur la direction de la pression. Ces deux systèmes, qui sont antiparallèles, ont, comme on vient de le voir, une tendance manifeste à être perpendiculaires l'un à l'autre ou orthogonaux. Je les désignerai, comme les cassures obtenues par torsion, sous le nom de *systèmes conjugués*.

5° Je ne mentionne ici que pour mémoire un système de rides produites normalement à la pression.

L'un des systèmes de cassures peut prédominer beaucoup par rapport à l'autre; cette prédominance paraît surtout manifeste pour les plus grandes surfaces de rupture.

Cassures consécutives des ploiements. — Dans diverses déformations, telles que des ploiements, il peut se produire non seulement des ruptures par extension, en forme de V, mais aussi des ruptures par glissement. Des

prismes, dont la longueur est beaucoup plus grande que la largeur, étant comprimés dans le sens de leur longueur, s'infléchissent pendant quelque temps, puis se rompent parfois sous l'action des mêmes pressions, par l'effet d'un glissement moléculaire. La rupture se fait alors suivant un



Fig. 4. — Prisme composé d'une série de couches de cire différemment colorées et soumises à des pressions indiquées par les flèches. Production d'une fracture avec glissement consécutive à l'inflexion.

plan qui est ordinairement oblique sur la surface des couches. De plus, si la pression continue encore, il peut arriver que les deux parois de la fracture glissent l'une sur l'autre, et même se strient mutuellement, en simulant une faille. Une fois ce mouvement de glissement commencé, il

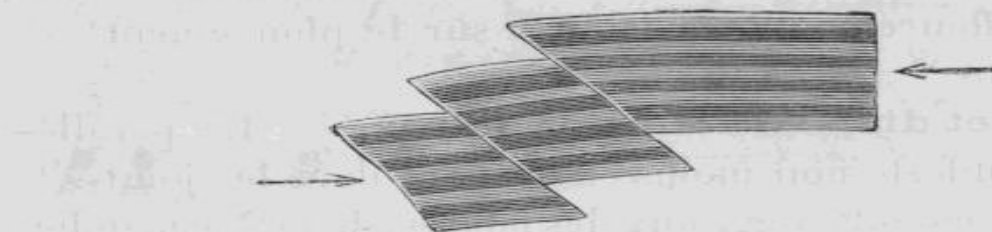


Fig. 5. — Production sur le prisme de la figure 4 d'un système de deux failles parallèles entre elles, également consécutives à l'inflexion des couches. Dans ce cas, le sens du rejet est contraire à l'action de la pesanteur.

se poursuit indéfiniment, si la pression qui a causé la face de rupture persiste elle-même (fig. 4 et 5).

Les résultats des trois séries d'expériences qui précèdent paraissent trouver diverses applications géologiques, tant dans les cassures souterraines que dans les effets qui en résultent pour le relief topographique et géographique du sol, et peut-être aussi dans les crevasses des glaciers. J'ajouterai les renseignements suivants à ceux qui viennent d'être signalés.

Formes et dispositions des failles. — Dans leurs traces horizontales, considérées à des niveaux différents, de même qu'à leurs affleurements, les failles présentent des configurations semblables à celles qui résultent des expériences précitées. Comme exemples, je rappellerai les failles du massif de la Côte-d'Or; celles de la Haute-Marne; celles qui sont figurées sur diverses feuilles de la carte géologique de l'Angleterre, etc. Ces failles présentent souvent des surfaces gauches infléchies comme les fissures produites par torsion.

Un caractère de parallélisme se reconnaît très généralement dans des groupes de failles et de filons, non seulement aux affleurements, mais aussi sur le plongement¹.

Formes et dispositions des joints. — Le parallélisme se manifeste non moins clairement dans les joints.

Les escarpements verticaux des falaises de la Normandie, qui atteignent une hauteur de 100 mètres et qui sont facilement accessibles à marée basse offrent une occasion singulièrement favorable pour l'étude des joints.

¹ Filons des consols en Cornouailles; filons du distict de Maria-Adalbert, à Pzibram (*Ann. des Mines*, 6^e série, t. XV, pl. 3).

Grâce aux démolitions qui se sont produites le long des plans de fractures, les joints ne sont pas visibles seulement sur le plan vertical; ils sont aussi reconnaissables dans leur

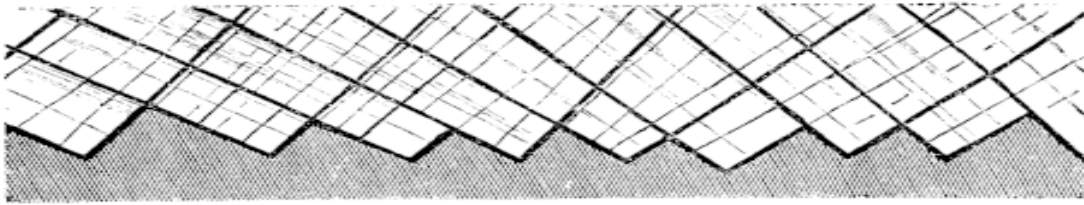


Fig. 6. — Détail en plan de la disposition des joints qui traversent, suivant deux directions principales, la falaise du Tréport, et qui, servant de guides aux actions érosives, ont déterminé la formation des cavernes près du niveau de la mer.

direction et dans leurs formes. En relevant avec soin à la boussole tous les joints que l'on peut nettement observer sur une longueur d'environ 1/4 kilomètres, du bourg d'Ault à Jolibois, près de Mesnil-Val, on y reconnaît des directions variées, au milieu desquelles il en est deux qui prédominent : leurs moyennes sont respectivement N. 50° E. et N. 127° E. Ainsi considérés, tant en plan horizontal qu'en



Fig. 7. — Détail en coupe des joints représentés dans la figure 6.

coupe verticale, ces joints constituent deux systèmes dont l'ensemble donne l'idée d'un réseau.

Il en est de même aux environs de Fontainebleau, dont le sol, comme on sait, est composé de sables tertiaires, ainsi

que de couches de calcaire lacustre, dont les unes sont inférieures, les autres supérieures à ce sable. En général, tout à fait incohérents, ces sables sont çà et là agglutinés sous forme de grès, principalement à leur partie supérieure, par un ciment qui est tantôt calcaire et tantôt siliceux. De là des masses mamelonnées, tuberculeuses et aplaties dans le sens de la stratification, dont les dimensions horizontales sont très diverses, depuis quelques mètres, et formant alors des *tables*, jusqu'à plusieurs centaines de mètres en tous sens, présentant, lorsque le calcaire supérieur a été enlevé, des plateaux rocheux nommés *plattières*.

Partout où le grès se montre en place, il est traversé par des joints ou diaclases. La plupart de ces diaclases sont planes ou faiblement ondulées, à peu près verticales, et coupent très nettement le grès sur toute son épaisseur. Tandis que quelques-unes se perdent dans le sens horizontal, au bout de quelques mètres, on en voit d'autres se continuer, sans changer de caractère, sur 80 à 100 mètres et davantage. Elles sont souvent si minces, qu'elles sont à peine reconnaissables sur leurs tranches et qu'elles ne se révèlent que par l'exploitation.

En examinant ces grès, soit dans des escarpements naturels tels que les gorges d'Apremont ou les gorges de Franchard, soit dans les nombreuses carrières où ils sont exploités depuis plus de cinq siècles, j'ai reconnu que les joints les plus nets et les plus étendus présentent des directions à peu près constantes, non seulement dans une même carrière ou dans un même groupe de carrières, mais dans toute l'étendue de la forêt. C'est ce qui résulte clairement de plusieurs centaines de mesures que j'ai prises sur une

étendue superficielle d'environ 180 kilomètres carrés. La direction prédominante varie entre N. 95° E. et N. 118° E., et a pour moyenne N. 105° E. Une même diaclase, même quand on ne la considère que sur une vingtaine de mètres, dévie très fréquemment de 15 à 20 degrés. Les écarts autour de la moyenne s'expliquent donc facilement, et il est même remarquable que ces écarts soient aussi restreints.

A part ces diaclases principales (système A), il en est d'autres (système B) qui leur sont à peu près perpendiculaires et que les ouvriers, en opposition avec le nom de *joints en long* qu'ils donnent aux premières, désignent sous le nom de *joints en travers*. Celles-ci sont moins régulières et plus contournées que les premières, qui les arrêtent quelquefois; elles sont aussi moins nombreuses. Leur direction moyenne est N. 12° E.

Tandis que les diaclases du système principal sont à une distance mutuelle qui ne dépasse guère 4, 6 et atteint rarement 10 mètres, celles du second système sont souvent plus éloignées. Sur quelques points, notamment au Long-Rocher et au rocher du Long-Boyou, elles sont distantes de 70, 80 et 90 mètres, ainsi que permettent de l'observer de vastes surfaces mises à nu par l'exploitation.

Il y a donc deux systèmes de diaclases, à peu près perpendiculaires entre elles.

D'après la constance de direction qui règne sur de grandes étendues, les diaclases du grès, dans la forêt de Fontainebleau, ne peuvent être considérées comme des effets de retrait. Cette conclusion serait confirmée, s'il était nécessaire, par la persistance de la même direction dans

les couches de calcaire voisines du grès, direction qui se montre ainsi indépendante de la nature minéralogique de la roche.

De même que les failles, dont elles offrent les caractères de parallélisme, ces diaclases ne peuvent résulter que d'actions mécaniques exercées extérieurement aux massifs et qui se sont produites, soit lorsque ces masses ont été portées au-dessus du niveau de la nappe d'eau sous laquelle elles ont été déposées, soit dans des mouvements ou tassements ultérieurs. C'est, en un mot, un système de cassures semblables, pour la disposition et pour l'origine, à celles que l'on peut obtenir artificiellement dans une plaque par une faible torsion. De part et d'autre, les irrégularités sont de même nature.

La circonstance que, dans la nature, les diaclases d'un des systèmes sont souvent arrêtées par celles du système principal, n'empêche pas de supposer qu'elles soient contemporaines, peut-être à quelques instants près. C'est aussi ce qu'imitent et expliquent les expériences.

Fréquence probable des effets de torsion dans la nature. — D'après ce qui précède, une ressemblance manifeste rapproche de nombreuses cassures, de divers ordres de grandeur, qui traversent l'écorce terrestre, et les cassures produites sur des plaques minces par une torsion. Dans les unes et dans les autres, on remarque un grand nombre de fentes rectilignes, groupées parallèlement entre elles; de part et d'autre, ces séries de fentes parallèles se groupent en deux ou plusieurs systèmes, orientés suivant des directions différentes, de manière à constituer des ré-

seaux. Cette ressemblance dans les effets peut faire supposer une certaine analogie dans les causes.

Ce rapprochement est d'autant plus autorisé, que l'on arrive à reconnaître directement que des effets de torsion ont pu et même ont dû se produire dans l'écorce terrestre.

Lamé, dans le chapitre où il a appliqué la théorie mathématique de l'élasticité à l'écorce terrestre, conclut que cette enveloppe, sous la simple action de fortes pressions intérieures, de la pesanteur et des pressions extérieures, peut avoir subi des torsions¹. A part ces considérations mathématiques, les déformations sans nombre qu'a subies l'écorce terrestre pendant de très longues périodes conduisent à admettre qu'il a dû s'opérer des torsions dans beaucoup de ses parties. Les pressions latérales ou horizontales d'une extrême énergie, dont on constate de toutes parts les preuves manifestes, n'ont pu sans doute, à moins de circonstances exceptionnelles, s'exercer avec une symétrie telle que les forces contraires, qui étaient en présence, n'aient pas causé de torsions.

Cette conclusion sur la possibilité de torsions fréquentes ressort, d'une manière plus précise, de l'examen des inflexions diverses et des formes tourmentées que l'on a constatées dans plusieurs bassins houillers du centre de la France, où les allures des couches ont été exactement reconnues par les travaux d'exploitation : par exemple, dans le bassin de Saint-Étienne, aux environs de la Ricamarie, où, en quelques points, les ploiements ont fait disparaître

¹ Car, si l'on considère des forces dans un plan vertical séparant deux massifs, ces forces peuvent être une traction dans une partie du plan, et dans l'autre une pression.

le parallélisme des couches; ceux du Crensat, de Montceau et de Montchanin (Saône-et-Loire), de Commentry et de Bezenet (Allier), de Saint-Eloi (Puy-de-Dôme), de Decazeville (Aveyron), du Pas-de-Calais, et bien d'autres, montrent des couches comprises entre des surfaces gauches et sinueuses, souvent très irrégulières, et des couches de houille dites *en chapelet*; les renflements de ces couches, séparées les unes des autres par des étranglements ou *serrées*, paraissent déceler les effets d'une torsion. Les exploitations d'ardoises des environs de Fumay, par exemple, ont fait reconnaître des ploiements non moins compliqués.

De toutes parts, même dans les régions où les couches semblent planes, comme dans le nord de la France, il s'est opéré des gauchissements : des torsions ont pu se produire dans ces transformations diverses, quelque faibles qu'elles paraissent, et lors même qu'elles auraient été causées par de simples tassements ou porte-à-faux opérés sous l'action de la pesanteur. Dans ce dernier cas, bien plus que dans celui de dislocations violentes et d'énergiques poussées latérales, le rejet des failles a dû se faire dans le sens de l'action de la pesanteur.

D'ailleurs, sans qu'il y ait à recourir à des suppositions, il est de très nombreuses failles qui ont conservé l'empreinte d'une torsion, non seulement dans leurs formes gauches, mais aussi dans les rejets contraires qu'elles ont produits. On y voit, en effet, le rejet varier d'amplitude pour une même paroi de la faille, lorsqu'on en suit le parcours en direction, et il n'est pas rare que l'une des deux parois ait subi, ici une élévation relative, là un abaissement. Ces failles à rejets contraires (positif et négatif) ont

un point intermédiaire ou nœud où le rejet est nul; aussi les mineurs de certaines localités les désignent-ils sous le nom de *failles à charnières*.

Parmi les actions mécaniques de nature très variée et les écrasements latéraux que l'écorce terrestre a subis de toutes parts, l'expérience nous amène donc à considérer la torsion comme l'une des causes probables, si ce n'est certaines, d'un mode de fracture qui est très répandu, notamment dans les joints et dans les failles. C'est une donnée que l'expérimentation apporte à la solution du problème général.

Convenance de dénominations spéciales pour les divers ordres de cassures. — Au milieu des cassures de formes et d'origines variées qui traversent en tous sens l'écorce terrestre, il est certains types qu'il paraît utile de caractériser nettement et de coordonner.

Il en est qui ont été produites par *retrait* : telles sont celles des prismes bien connus dans les roches volcaniques. D'autres sont des plans de *clivage*, qui se rapportent à la schistosité et dont il sera question plus loin.

Mais les plus importantes des cassures paraissent dues à un *glissement* moléculaire et se rattachent à des *pressions*, dont la première cause doit être cherchée en dehors de la roche elle-même; ces dernières cassures sont du genre de celles qui ont laissé leurs énergiques empreintes dans les ploiements des roches stratifiées et dont les failles sont les représentants les mieux connus.

Ces cassures ont, en général, reçu le nom de *joints*, nom également adopté par les géologues anglais¹ et dont j'ai dû

¹ En allemand : *Klüfte*, *Risse*, *Spalte*, *Absonderungsflächen*.

me servir dans tout ce qui précède. Ce nom, emprunté à l'architecture, où il désigne les plans suivant lesquels on a assemblé les assises d'une construction, paraît inexact lorsqu'il s'agit, au contraire, de faces de rupture, auxquelles le nom de *disjoint* serait mieux adapté. On peut y substituer un nom à la fois plus juste et plus compréhensible dans différentes langues : tel est celui de *diacalse*¹.

Les nombreux faits qui unissent, par une relation intime et originelle, les joints aux failles, et qui appartiennent également au domaine de l'observation et à celui de l'expérience, conduisent à rappeler cette commune origine par une similitude de nom. Celui de *paraclase*² exprime que la cassure est accompagnée d'un déplacement. Sans prétendre le substituer à celui de *faille*, qui est si répandu³, je crois devoir le présenter, pour la double raison d'une symétrie avec le nom de *diacalse*, et, comme pour le premier, d'une étymologie rationnelle.

Enfin les diaclasses et les paraclases constituent deux grands groupes dans les cassures qui nous occupent, auxquelles convient le nom général de *lithoclase*.

En ce qui concerne l'*histoire chimique des dépôts métallifères*, on citera les expériences relatives à la reproduction artificielle de leurs minéraux caractéristiques.

Aux amas stannifères se rattache la production artificielle de la cassitérite, de l'oxyde de titane cristallisé, de l'apa-

¹ De *διά*, à travers, marque de division, et de *κλάω*, briser, diviser : fissure par brisement.

² De *παρά*, préposition qui exprime ordinairement *obliquité*, *latéralité*, et de *κλάω*. Le mot s'applique bien à une fissure accompagnée de l'abaissement de l'une des parois par rapport à l'autre, comme il arrive dans les failles.

³ En anglais : *fault* ; en allemand : *Verwerfung*, *Verwerfungsspalte*, *Spring*, etc.

tite, de la topaze, et la confirmation de l'hypothèse première, tirée de l'observation seule, que ces gîtes ont été engendrés sous l'influence d'émanations chlorurées et fluorifères.

Relativement aux gîtes sulfurés dits *plombifères*, à part l'imitation artificielle de la hausmannite, des expériences en quelque sorte spontanées, puisqu'elles ont été involontairement instituées par les Romains, ont procuré des faits nombreux et significatifs en France : à Bourbonne-les-Bains, à Plombières, à Bourbon-l'Archambault, à Bagnères-de-Bigorre, à Olmeto (Corse), ainsi qu'à Hammam-Meskoutin (Algérie).

On a recueilli des médailles antiques et des objets métalliques qui, sous l'influence lente et séculaire d'eaux thermales, ont engendré la série des minéraux caractéristiques des filons :

Minéraux de cuivre : chalkosine, — chalkopyrite, — philippsite, — tétraédrite, — atacamite, — les deux oxydes de cuivre (cuprite, mélaconise) chrysocolle, — malachite.

Minéraux d'étain : cassitérite;

Minéraux de plomb : galène, — litharge, — cérusite, — anglésite, — phosgénite.

Minéraux de fer : pyrite, — sidérose (fer carbonaté), — vivianite, — limonite, — silicate de fer hydraté.

Minéraux de chaux : calcite, — aragonite, — fluorine, — enfin de la silice à l'état de calcédoine.

A cette série de minéraux essentiellement filoniens, il convient d'ajouter : d'une part, la minéralisation et fossilisation de débris organiques végétaux et animaux; d'autre part, la collection des zéolithes et des minéraux connexes ren-

contrés dans les maçonneries antiques, à Plombières, à Luxeuil, à Bourbonne-les-Bains, à Saint-Honoré, et en Algérie (chabasie, christianite, apophyllite, plombiérîte, opale et un silicate d'alumine hydraté).

La production contemporaine des zéolithes et des minéraux connexes dans les maçonneries antiques présente un intérêt tout particulier, au point de vue de l'histoire des roches amygdaloïdes et du métamorphisme.

Un exemple d'études géologiques expérimentales n'ayant pas le caractère d'application aux mines, mais se rattachant également aux cassures du sol, se résume par les *conséquences tirées des expériences, en ce qui concerne les caractères de divers ordres que présente le relief*.

Un chapitre consacré à l'application de la méthode expérimentale, à l'histoire des phénomènes volcaniques, montre la possibilité d'une infiltration capillaire au moyen des matières poreuses, malgré une forte contre-pression de vapeur.

APPLICATION DE LA MÉTHODE EXPÉRIMENTALE

À L'ÉTUDE DES CARACTÈRES DE DIVERS ORDRES QUE PRÉSENTE LE RELIEF DU SOL.

L'influence fondamentale que la constitution géologique exerce sur la configuration de la surface du sol se manifeste partout, avec plus ou moins d'évidence, soit que l'on considère les grandes masses dans l'ensemble de leur agencement, soit qu'on analyse les détails de leurs formes. Sans le secours des lumières apportées par la géologie, il est impossible de comprendre les contours et le relief des continents, non plus que beaucoup de leurs caractères topographiques.

Mais si les différences que les massifs de roches présentent dans leur nature minéralogique ainsi que dans leur juxtaposition originale ont une large part dans la physiologie de chaque contrée, les actions que ces roches ont subies *postérieurement* à leur formation jouent aussi un rôle fort important. Ces actions postérieures, quoique de nature complexe, peuvent se résumer en *cassures* et en *érosions*.

Influence bien connue des paraclases sur le relief du sol. — En ce qui concerne les failles proprement dites ou paraclases, l'influence qu'elles peuvent exercer sur le modelé général du sol est bien connue, et le géologue les reconnaît fréquemment aux anomalies qu'elles causent dans le relief.

Souvent les paraclases se traduisent à la surface par des saillies brusques et allongées, comparables à des falaises : telles sont celles qui terminent la chaîne des Vosges du côté de la plaine du Rhin, particulièrement dans la région septentrionale, formée de grès des Vosges, ou celle qui limite l'Alpe du Wurtemberg. Quelquefois aussi les failles donnent lieu à des ressauts qui, sans être aussi considérables que ceux qui viennent d'être cités, sont cependant très marqués (Côte-d'Or, où on les a désignés sous le nom de *hérissons*). Ces saillies, de divers ordres de grandeur, sont dues à des rejets plus ou moins considérables qui ont donné à une des parois de la faille une élévation relative qui subsiste encore, au moins en partie, lorsque des érosions postérieures ne l'ont pas fait disparaître.

Fréquemment les paraclases s'accusent, non par des saillies, mais au contraire par les érosions qu'elles ont provo-

quées. Il y a longtemps que de la Bèche a montré que, dans la contrée des Black-Downs, des failles qui traversent les couches crétacées ont donné naissance à des vallées¹. En signalant le parallélisme de la Lys, de l'Escaut, de la Dendre, de la Senne, de la Dyle, de la Gete, d'Omalus a supposé aussi que ces lignes étaient le résultat de fractures, comme Dumont l'avait conclu pour la Hesbaye. Bien des terrains houillers, où l'exploitation oblige à suivre et à relever exactement la situation des failles, offrent des coïncidences analogues : tels sont ceux de Saint-Étienne, de Blanzey, de la Grand'Combe et de Bessèges, où les failles s'annoncent par de nombreux *vallats*. Les exemples du même fait sont trop connus pour qu'il y ait lieu d'en citer d'autres. Le nom de *vallées de failles*, adopté par d'Omalus², a donc souvent sa justification.

Dans tous les cas dont il vient d'être question, il arrive très souvent que les érosions tendent à effacer le caractère des cassures originelles sur lesquelles elles sont en quelque sorte greffées, parce qu'elles y ont substitué les formes serpentantes qui leur sont propres. Mais, lors même que les lithoclastes n'ont pas produit de rejet, c'est-à-dire lorsqu'elles n'appartiennent pas à la catégorie des failles proprement dites ou paraclases, les cassures des roches ou diaclases paraissent avoir joué un rôle important dans le modelé du sol.

D'abord on peut constater le fait sur de petites dimensions et sur des roches diverses, en étudiant les saillies qu'elles forment fréquemment. C'est ainsi qu'on rencontre

¹ *Researches in theoretical geology*, p. 185 et 186 (1834).

² *Précis élém. de géologie*, p. 452.

dans le grès des Vosges des rochers isolés en forme de parallélépipèdes et de corniches escarpées, simulant des châteaux forts. Il en est de même dans le Quadersandstein de la Suisse saxonne et de la Bohême, dont la stratification est également horizontale et coupée par des pentes verticales souvent à peu près rectangulaires entre elles, d'où est résultée la division en parallélépipèdes qui lui a valu son nom¹.

On peut se convaincre du même fait en examinant les mers de rochers (*Felsenmeere*) qui se rencontrent dans des roches très cohérentes et de natures diverses : granit (Brochen, Odenwald); grès des Vosges (plateau de Sainte-Odille, Menelstein, Ungersberg); grès bigarré (environs de Plombières), où elles sont connues sous le nom de *meurgers*).

L'état fragmentaire et ruiné des hautes cimes paraît être un fait général. Ainsi, les pics pyrénéens consistent, pour la plupart, en monceaux de blocs, souvent désignés sous le nom de chaos, de même que la cime du mont Perdu, dont Ramond a si attentivement étudié la forme des rochers.

L'influence topographique des diaclases se manifeste partout sur une échelle beaucoup plus grande. Plus on étudie sur des cartes exactes le dessin général des vallées et le relief du sol, plus on y reconnaît, de toutes parts, même dans les pays dont les couches sont restées à peu près horizontales, de nombreux traits rectilignes parallèles et souvent coudés. Or, ce caractère, sur lequel un de nos plus savants topographes (M. le colonel du génie Goulier) a appelé l'at-

¹ Naumann, *Erläuterungen*, n° 3, p. 49.

lention, se montre très fréquemment en rapport avec les diaclases.

Lumière jetée par l'expérimentation sur la cause de ces divers traits topographiques. — L'expérimentation fournit des données qui paraissent éclairer très vivement ces résultats positifs dus à l'observation des faits naturels.

Dans les expériences sur les fractures, on a en effet produit des séries de cassures parallèles qui se groupent en systèmes ayant des orientations différentes, souvent perpendiculaires entre elles. On y voit aussi des formes coudées ou en zigzag prendre naissance par l'intersection de deux de ces systèmes de cassures. Ce sont donc des dispositions fort analogues à celles que les formes du relief offrent si fréquemment.

Il importe de faire ici deux observations sur ce rapprochement : d'une part, les diaclases n'ont été mises à nu que partiellement, c'est-à-dire sur une faible partie de leurs affleurements; d'autre part, de même que nous l'avons rappelé pour les failles, les agents érosifs ont imprimé leurs caractères propres et leurs sinuosités caractéristiques aux régions sur lesquelles ils ont exercé leurs attaques, et cela de la manière suivante. Dès que certaines rigoles ont été excavées, ces rigoles sont devenues des artères principales, qui ont attiré vers elles les eaux qui devaient les creuser bien davantage encore, d'après des lois tout autres que celles qui avaient présidé aux cassures. Ce second effort de décapement, tout à fait prédominant, a fait disparaître le caractère originel des cassures. Pour ce double motif, ce

caractère se montre d'une manière fort incomplète et souvent trompeuse; cependant, çà et là, il se manifeste d'une manière significative. Quoique souvent très délicats et en très faible minorité, au point de pouvoir passer inaperçus, ces traits témoignent de l'influence des cassures.

C'est par les observations qui précèdent que peuvent s'expliquer divers types de modelé extrêmement répandus, que des actions érosives des eaux, aussi énergiques qu'on puisse les supposer, ne sauraient expliquer, et qui se rencontrent aussi bien dans les terrains stratifiés dont les couches sont restées horizontales, que dans les régions disloquées. Telles sont les séries de traits parallèles qui se répètent de toutes parts, en se groupant sous plusieurs orientations distinctes, comme nous venons de le voir. Quelques-uns peuvent n'être accusés que par de simples amorces.

A ce système réticulé se rattachent les coudes brusques, souvent rectangulaires, que l'on observe dans une foule de vallées. Le dessin de ces vallées, considéré horizontalement, offre une succession de formes en zigzag et en crémaillère, qu'il n'est pas toujours facile de distinguer des formes sinusoïdales que les cours d'eau ont excavés sur les alluvions mobiles qui en constituent le fond. Les formes coudées ont d'ailleurs leurs analogues dans les chaînes de montagnes, où l'on a depuis longtemps remarqué la disposition à peu près orthogonale des vallées : les unes longitudinales, les autres transversales ou formant des *cluses*, ainsi que des coudes brusques, tels que celui du Rhône à Martigny.

Souvent encore plusieurs vallées discontinues s'alignent suivant une même droite, réapparaissent successivement,

malgré les proéminences intermédiaires qui séparent ces diverses vallées, et se présentent ainsi comme les diverses parties d'une même cassure rectiligne.

Quelque puissamment que les érosions aient agi dans leur creusement, elles n'ont pu ébaucher le premier dessin de ces différents types de formes. Comme on le voit, une telle configuration est l'analogue du réseau de cassures sans rejets qui sont la conséquence des expériences précitées, cassures qui servent toujours de cortège aux cassures avec rejets, bien moins nombreuses que les premières et dues également à un glissement moléculaire.

A cause de leur grand nombre, les joints ou diaclases ont contribué puissamment aux érosions, rivalisant ainsi avec les failles ou paraclases.

Dans les cassures obtenues par pression, on a vu que les fentes et les gerçures se multiplient suivant certains alignements, de manière à isoler de nombreuses pièces prismatiques; les parties ainsi désagrégées seraient dans des conditions particulièrement favorables à une démolition. C'est encore un résultat expérimental qu'il convient de rapprocher des faits naturels qui viennent d'être exposés.

Quelques-unes des expériences reproduisent en outre, dans leurs détails, la configuration des vallées dites de fracture ou d'écartement. Il est des vallées qui ne sont que des fissures à peine entr'ouvertes, comme celles de la Tamina, de Trient et de la Via Mala (Suisse), du Fier (Savoie), la perte du Rhône (près Bellegarde), les ruz et cluses du Jura, le Rummel (près Constantine), les canons du Wisconsin et du Colorado¹. Sans être aussi caractéristiques, un grand

¹ Ce type a été désigné par M. Desor sous le nom générique de *Hofla*.

nombre de vallées appartiennent au même type : telles sont les vallées abruptes des causses jurassiques du midi de la France, celles qui entaillent les couches redressées de la molasse, comme la Vevère (près Vevey) et la vallée du Chaudron (près Montreux). Lorsque les parois de ces vallées portent à peine des traces d'érosion et que le fond montre la roche vive au lieu d'avoir été remblayé par des éboulements, on doit croire que ces vallées résultent de cassures restées béantes.

Les blocs de mastic à mouler soumis à la pression présentent des gerçures qui rappellent bien les vallées dont il s'agit. Ça et là leurs fissures s'infléchissent brusquement, une ou plusieurs fois et à peu près à angle droit. La disposition coudée résulte de la tendance à épouser successivement l'un et l'autre système de cassures. Ces gerçures apparaissent surtout à la surface des blocs où la pression était moindre qu'à l'intérieur.

De plus, des prismes de substances à la fois flexibles et cassantes lorsqu'on les ploie peuvent en même temps se déchirer graduellement. Si la partie convexe qui se rompt par l'effet d'une extension est tournée vers le haut, la déchirure va en se rétrécissant vers le bas, tandis que, dans sa projection horizontale, elle présente une configuration serpentante ou en zigzag. Un prisme de fer se déchire aussi sous cette forme, qui rappelle plus particulièrement les vallées dites *de soulèvement*, dont celle de Pyrmont offre un type classique. Toutes sortes d'intermédiaires lient ces vallées d'écartement à des vallées bien plus évasées, que l'on trouve fréquemment, même en dehors des chaînes de montagnes.

Si l'on opère sur des alternances de couches cassantes et de couches plastiques, on peut imiter d'autres effets naturels, par exemple les ruptures qui se sont faites vers la partie culminante des voûtes jurassiques, ainsi que les crêtes qui les encadrent.

Résumé. — Quand on étudie la constitution d'une contrée, surtout si cette contrée est montagneuse, on s'applique habituellement à en rechercher et à en coordonner les saillies principales, telles que les lignes de faite. Cependant les proéminences qui devaient exister originellement ont en général été fortement ébréchées ou même entièrement démolies. Dans les Alpes et ailleurs, les hautes cimes et les principales aspérités qui restent ne représentent que des lambeaux restreints du massif primitif; ce sont de véritables ruines éparses qui résultent de démolitions irrégulières et comme accidentelles. Aussi l'intelligence de la structure de la contrée ne trouve-t-elle pas moins de lumières dans la recherche des lignes *intérieures* de fractures (paraclases et diaclases), qui sont, il est vrai, bien moins apparentes, mais qui n'ont pas subi les mêmes causes de destruction.

L'énorme puissance avec laquelle les eaux courantes, les neiges et les glaciers ont agi sur des vastes régions de continents, particulièrement pendant la période dite *quaternaire*, est incontestable : son énergie est une cause d'étonnement. Cela explique, sans doute, pourquoi on en a si souvent exagéré les effets. Mais les cassures produites à la suite des déformations du sol avaient préparé ces érosions considérables et leur avaient frayé une voie; elles avaient

ébauché, en désagréant les roches, la maquette du modèle actuel. Pour l'observateur attentif, la disposition première de ces cassures, quoique altérée par l'effet de tels élargissements, ne se décèle pas moins au dehors. Ces caractères attestent la priorité et l'action en quelque sorte *directrice* des cassures qui sillonnent le sous-sol. Partout, même dans les pays où les couches ont conservé à peu près leur horizontalité, le relief du sol offre le reflet d'innombrables cassures internes qui s'y répercutent en dessins significatifs.

Quoi qu'il en soit, il est incontestable que des traits orographiques de divers ordres trouvent une reproduction assez fidèle dans les cassures obtenues artificiellement par une action mécanique des plus simples (pression ou torsion), telle qu'il s'en est nécessairement produit bien souvent dans l'écorce terrestre. D'ailleurs, dans les unes comme dans les autres, dans la nature comme dans les expériences, à côté d'une tendance manifeste à des formes similaires, de régularité géométrique, apparaissent des perturbations de même nature. Aussi l'expérimentation paraît-elle jeter quelque lumière, non seulement sur l'histoire des failles et des joints, mais aussi sur différents caractères topographiques et géographiques.

QUESTIONS DE GÉOLOGIE SYNTHÉTIQUE.

ÉTUDES, DOCUMENTS ET MODÈLES EXPOSÉS

PAR

M. BÉGUYER DE CHANCOURTOIS,

INSPECTEUR GÉNÉRAL AU CORPS DES MINES,
PROFESSEUR DE GÉOLOGIE À L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DES MINES.

On a réuni sous ce titre cinq séries d'études, de documents et de modèles relatifs aux diverses parties des généralités synthétiques du cours de Géologie de l'École des mines :

- A. UNIFICATION DES TRAVAUX GÉOGRAPHIQUES ET GÉOLOGIQUES.
- B. GÉOMÉTRIE DU RÉSEAU PENTAGONAL ET SPHÉRODÉSIE GRAPHIQUE.
- C. ÉTUDE DES ALIGNEMENTS GÉOLOGIQUES ET APPLICATION DU RÉSEAU PENTAGONAL.
- D. IMITATION DES ACCIDENTS OROGRAPHIQUES DE SOULÈVEMENT.
- E. CLASSIFICATIONS GÉOLOGIQUES.

Recueils de documents, mémoires, notices, tableaux de classement, tableaux numériques (plaquettes et volumes reliés).

Cartes d'étude.

Planisphère avec texte et cartes gnomoniques, épures planes, roses, études graphiques d'alignements, tableaux, planches héliographiques, photographiques (panneau et portefeuille).

Globe et octaèdre géographiques, épures sphériques (modèles).

A. UNIFICATION DES TRAVAUX GÉOGRAPHIQUES ET GÉOLOGIQUES.

a. **Mémoires et documents réunis à l'occasion du Congrès des sciences géographiques en 1875, à Paris, par M. B. de Chancourtois, auteur personnel des nos 1. 2. 3. 7.**

Recueil (in-8°) comprenant :

1° PROGRAMME D'UN SYSTÈME DE GÉOGRAPHIE, fondé sur l'usage des mesures décimales, d'un méridien 0 grade international, et des projections stéréographiques et gnomoniques. (Présenté à l'Académie des sciences le 23 mars 1874. — Extrait du *Bulletin de la Société de géographie*, septembre 1874.)

2° CARTE DU GLOBE EN PROJECTION GNOMONIQUE. Notice explicative avec une feuille gravée à titre de spécimen. (Présentée à l'Académie des sciences le 3 novembre 1873. — *Bulletin de la Société de géographie*, mars 1874.)

3° LE SYSTÈME DE LA CARTE GÉOLOGIQUE DÉTAILLÉE DE LA FRANCE, présenté comme base de discussion pour l'établissement d'un programme répondant à la question de l'EXÉCUTION UNIFORME DES RELEVÉS GÉOLOGIQUES. (Extrait du *Bulletin de la Société de géographie*, janvier 1875.)

4° Note sur la Carte géologique détaillée de la France. HISTORIQUE ET DÉFINITION DU TRAVAIL, avec réduction du tableau d'assemblage. (Reproduction du *Cahier d'avertissement B*, extraite des *Annales des mines*, 7^e série, 1873, t. IV. — Portant sur la couverture la liste des quarante-deux premiers articles de la publication mise en vente en 1874, M. Élie de Beaumont étant directeur, et M. Béguyer de Chancourtois sous-directeur de service.)

5° LÉGENDE TECHNIQUE GÉNÉRALE de la Carte géologique détaillée de la France. (Reproduction du *Cahier des généralités C*, extraite des *Annales des mines*, 7^e série, 1873, t. IV.)

6° Carte géologique détaillée de la France. SYSTÈME ET MODE D'APPLICATION DE LA LÉGENDE GÉOLOGIQUE GÉNÉRALE, avec les tableaux de Lithologie et de Stratigraphie et les spécimens ou éléments des tableaux de Chronologie géognostique. (Reproduction du *Cahier des généralités D*, extraite des *Annales des mines*, 7^e série, 1874, t. V.)

7° DE LA RÉGULARISATION DES TRAVAUX DE GÉOLOGIE, DE L'ASSOCIATION DES ÉTUDES DE GÉOLOGIE, D'HYDROLOGIE ET DE MÉTÉOROLOGIE, ET DE L'INSTITUTION D'UN RELEVÉ TOPOGRAPHIQUE ET PHYSIQUE DU TERRITOIRE UNIFORMÉMENT DÉTAILLÉ À L'ÉCHELLE CADASTRALE DU 10 000^e, avec un tableau synoptique des parties de la Géologie ordonnées d'après un classe-

ment général des sciences. (Mémoire présenté à la *Société géologique* le 2 mars 1875.)

La photographie annexée au n° 1 représente, outre les spécimens du système de géographie, les moyens et les résultats de l'étude des alignements géologiques exposés simultanément en 1875. (Voir ci-après c.)

b. **Documents réunis en un volume, avec planches et tableau, à la suite du Congrès de géologie de 1878 à Paris, par leur auteur M. B. de Chancourtois.**

Ce volume (grand in-8°) comprend :

1° *Conférence sur l'unification des travaux géographiques, faite le 3 septembre 1878, au palais du Trocadéro. Extrait des Comptes rendus sténographiques des congrès et conférences qui ont eu lieu à l'occasion de l'Exposition universelle de 1878, publiés par le Ministère de l'agriculture et du commerce, à l'Imprimerie nationale, 1879, avec planche héliographique et tableau typique du Répertoire des situations géographiques. (Voir ci-après A. c.)*

2° *Transcription des noms géographiques en lettres de l'alphabet latin. Mémoire accompagné d'un tableau du classement des vingt et une lettres de l'alphabet latin-français qui représentent les éléments phonétiques simples. Extrait des Comptes rendus du deuxième Congrès international des sciences géographiques, tenu à Paris en 1875, publiés en 1878 par la Société de géographie de Paris.*

3° *De l'unification des travaux géologiques en général et particulièrement en ce qui concerne les figurés conventionnels (tracés, notations, signes, couleurs). Extrait du Compte rendu sténographique du premier Congrès international de géologie, tenu à Paris en 1878, publié à l'Imprimerie nationale en 1880. Avec la composition des deux commissions internationales chargées par le Congrès de 1878 de préparer les délibérations sur les questions d'unification de la nomenclature et des figurés mises en tête de l'ordre du jour du deuxième Congrès de géologie convoqué à Bologne en 1881.*

c. **Programme raisonné d'un Système de géographie fondé sur l'usage des mesures décimales, d'un méridien initial ou 0 grade international et des projections stéréographiques et gnomoniques.**

Mémoire explicatif (développement du programme A a 1°), accompagné de la réduction héliographique, au 10°, de l'exposition faite en 1878 au champ de Mars (classe 16), à l'appui du système, d'un tableau typique du Répertoire des situations géographiques, et d'esquisses d'un planisphère et de deux cartes de détail pour l'étude de la question du méridien initial.

Un appendice contient les tableaux des éléments numériques calculés pour la construction du canevas géodésique décimal de la carte dite *octoplanisphère* (voir A c 3, C d) et pour celle des vingt canevas décimaux des séries de *trapèzes* embrassant le globe, destinés aux cartes de détail dont la carte de la région principalement occupée par la France offre un spécimen (A c 5).

Un autre appendice rappellera les solutions graphiques des problèmes de géométrie élémentaire nécessaires pour l'emploi des cartes en projection gnomonique dans les études de précision auxquelles elles sont particulièrement destinées.

L'explication de la planche (mise aussi in-plano dans le portefeuille) est résumée dans l'énumération suivante des *documents, cartes, planches globes, modèles et instruments qui y sont représentés* :

1. Premier programme du système. (Extrait des *Comptes rendus de l'Académie des sciences* du 23 mars 1874.)
2. Atlas d'ensemble. — Planisphère sommaire.
3. Atlas d'ensemble. — Esquisses spécimens des quatre genres de feuilles de l'Atlas in-4° correspondant au globe réduit au 100 000 000° : S, hémisphère de la série stéréographique ; O, triangle de la série gnomonique octaédrique ; C, carré de la série gnomonique cubique ; D, losange de la série gnomonique dodécaédrique. — Esquisses des séries complètes groupées chacune dans une planche quart grand aigle : S', les six hémisphères imbriqués déterminés par les plans du méridien 0° — 200° du méridien 100° — 300° et de l'équateur ; O', développement de l'octaèdre (octoplanisphère) ; C', développement du cube ; D', développement du rhombododécaèdre.
4. Atlas de détail. — Planisphère sommaire.
5. Atlas de détail correspondant au globe, réduit au 1 000 000°. — Minute spécimen d'un trapèze de la série paire. Carte en projection gnomonique de la région principalement occupée par la France. (Format grand monde.)
6. Cadre d'un répertoire des situations géographiques, avec indication sommaire d'un

classement des altitudes et d'un système de tracé méthodique des courbes de niveau pour le figuré du relief.

7. Rapports des cadrans d'horloge duodécimaux et décimaux.
8. Classement des lettres de l'alphabet français, présenté au Congrès de géographie de 1875 pour la transcription des noms géographiques.
9. Globe réduit au 100 000 000^e avec canevas duodécimal.
10. Globe réduit au 100 000 000^e avec canevas décimal.
11. Instruments sphérodésiques : règle, équerre et compas adaptés à ce globe (rayon 0^m,0637).
12. } Modèles manifestant les caractères des projections stéréographiques exécutées sur un
13. } plan méridien et sur un plan équatorial.
14. Modèle manifestant les caractères des projections gnomoniques et les rapports des polyèdres circonscrits au globe qui servent à en établir les séries : 1^o octaèdre, cube et rhombododécaèdre conjugués ; 2^o polytrapézoèdres et polyrhomboèdres imbriqués.
15. Modèle manifestant la disposition imbriquée des hémisphères de la série stéréographique.
16. Octaèdres..... } conjugués, circonscrits au globe réduit au 100 000 000^e,
17. Cubes..... } offrant en projection gnomonique le canevas décimal et
18. Rhombododécaèdres } l'esquisse du figuré géographique.
19. Boussole transitoire donnant simultanément la lecture des orientations en mesures duodécimales et décimales.
20. Aide-calculateur pour la conversion des mesures duodécimales en mesures décimales.

Malgré la réduction à une aussi petite échelle, les n^{os} 2 et 3 font bien apprécier les avantages du méridien pris comme méridien initial ou 0 grade ; on voit que ce méridien, placé à $28^{\circ} 30' = 31^{\circ} 66' 667$ ou mieux à $31^{\circ} 7' - 28^{\circ} 31' 48''$ exactement de longitude Ouest de Paris, et qui peut être dit *de Saint-Michel* parce qu'il passe près de l'île de ce nom, est presque exclusivement marin ; il laisse à l'Est toutes les îles dépendantes de l'Afrique ainsi que l'Islande, ne traverse du Groënland et de l'Asie continentale que les parties inhabitées ou les moins habitées, et, ne laissant ensuite à l'Est, dans l'Océanie, que les archipels de la Polynésie proprement dite, passe, sans l'entamer, près du continent australien. La division produite par le méridien à 100 grades ou 90 degrés de ce méridien initial est également heureuse, tant pour la délimitation méridienne des hémisphères des mappemondes stéréographiques que pour la répartition des terres dans un octoplanisphère. On n'a adopté la division par le méridien de l'île de Fer dans la construction de l'octoplanisphère (C d), où

l'on conservait d'ailleurs la graduation duodécimale, que pour en faciliter l'usage immédiat, en ménageant les habitudes contractées.

Le n° 5 montre que, pour une carte au 1 000 000^e d'une région aussi étendue, la projection gnomonique, qui rend le tracé d'un grand cercle quelconque rigoureusement rectiligne et permet par suite d'étudier les alignements avec la règle, ne produit pas sensiblement plus de déformation que tout autre mode plus compliqué de transformation de la surface sphérique en surface plane. Cette reproduction d'une carte, où l'orographie était ombrée au pinceau, fait de plus apprécier tout le parti que l'on peut, dès à présent, tirer de l'héliographie pour la vulgarisation des connaissances géographiques par des cartes manifestant le relief, dont la publication suivrait presque immédiatement l'exécution, terminée elle-même de la manière la plus rapide.

Le système de géographie, objet de la planche héliographique exposée, a été présenté en 1874 à l'Académie des sciences (*Comptes rendus*) et à la Société de géographie de Paris (*Bulletin*). — (Voir A b 1°.)

Il a été discuté au deuxième Congrès des sciences géographiques, en 1875, et a fourni le fond de la conférence de 1878. (Voir A b 1°.)

Le présent mémoire développe l'explication du système, et donne par ses appendices les moyens de l'appliquer couramment.

On y discute les avantages relatifs des systèmes en usage ou proposés et la question de la mesure décimale du temps inséparable de celle de la division décimale du cercle.

On y fait ressortir la nécessité de l'unification du méridien initial pour la fixation internationale des rapports des dates propres à des lieux de longitudes différentes, rapports dont l'expression ne semble pas pouvoir être laissée indécise lorsque le développement des réseaux télégraphiques, bientôt renoués par la fermeture des circuits coupant tous les méridiens, en aura vulgarisé la notion dans toutes les parties du globe.

Il a été rédigé en vue du troisième Congrès des sciences géographiques et du deuxième Congrès de géologie convoqués à Venise et à Bologne en 1881, où une partie a pu être seulement distribuée en épreuves, et il a été complété depuis pour tenir compte des commu-

nications faites au Congrès de Venise, concernant le choix du méridien initial et la régularisation de la mesure du temps, ainsi que de la proposition de réunir une conférence internationale pour la solution de ces questions, faite par la circulaire du gouvernement des États-Unis communiquée à l'Académie des sciences par M. le Ministre de l'instruction publique. (Séance du 2 janvier 1883.)

d. **Canevas géodésique décimal de l'un des triangles de l'octoplanisphère gnomonique**, formé par le développement de l'octaèdre circonscrit au *globe réduit au 20 000 000^e*, calqué sur l'épure typique et portant l'*esquisse* des contours géographiques d'une carte de la *région européenne*, en cours d'exécution à échelle double, le côté gauche du triangle représentant le méridien initial de Saint-Michel, accompagné sur le panneau du *tableau des éléments numériques* du tracé et des figures ou épures nécessaires pour établir graphiquement les rapports entre les méridiens et les parallèles du globe et ceux des projections gnomoniques de l'octoplanisphère (dessins et calculs exécutés par M. Parquet.)

Dans l'étendue du cadre rectangulaire de la carte esquissée, on a ajouté, à titre transitoire, le tracé du canevas duodécimal, ayant pour méridien initial celui de l'île de Fer, au tracé du canevas décimal, qui s'en distinguerait, même sans sa couleur rouge, par les divisions marquées sur ses méridiens et ses parallèles et par la subordination du canevas secondaire correspondant à ces divisions.

L'esquisse géographique montre que les déformations à la périphérie d'une telle carte ne sont pas plus choquantes que celles des cartes ordinaires de la même étendue.

e. **Observations au sujet de la circulaire du gouvernement des États-Unis concernant l'adoption d'un méridien initial commun et d'une heure universelle** (extrait des *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1883), avec esquisses d'un planisphère et de deux cartes de détail pour la comparaison des avantages de l'ancien méridien de Ptolémée et d'un méridien qui passerait par le détroit de Behring.

M. de Chancourtois, dans ses observations, insiste pour qu'à l'occasion des questions soulevées par la circulaire, où il regrette de ne

pas voir figurer celle de la régularisation des rapports de date, on s'occupe de nouveau de la division décimale du cercle et du jour, dont il importe de fixer ou de propager l'usage comme complément nécessaire de la systématisation décimale des mesures, en faisant remarquer que la division décimale du temps sidéral distinct du temps solaire, et avec lequel il lui paraîtrait préférable d'établir une échelle pour la mesure absolue du temps, pourrait être spécialement instituée pour les usages scientifiques et techniques, dans lesquels, dès que le temps est à prendre en considération, l'introduction de la seconde duodécimale détruit tous les avantages de simplification de calcul réalisés par la systématisation décimale des mesures de longueur, de volume et de poids.

B. GÉOMÉTRIE DU RÉSEAU PENTAGONAL ET SPHÉRODÉSIE GRAPHIQUE.

La géométrie du réseau pentagonal pouvant donner lieu à des applications en dehors de la géologie, on a réuni à part les documents destinés à en vulgariser les notions ou concernant les moyens de dessiner sur la sphère, moyens qui, bien que combinés pour l'étude du réseau et des alignements géologiques, ont eux-mêmes une portée plus générale.

a. **Instruction pour la pratique du dessin géométrique sur la sphère et pour son application en géographie et en géologie**, par M. B. de Chancourtois. (Extrait des *Annales des mines*, 1875.)

b. **Sphère stuquée** représentant le globe terrestre réduit au 100 000 000^e. (Voir ci-après d, e.)

Rayon = 0^m,0637; circonférence = 0^m,04; un degré = 0^m,0011; un grade = 0^m,001.

c. **Instruments sphérodésiques** adaptés à la sphère précédente : règle (grand cercle), équerre (triangle birectangle), compas (compas à verge circulaire). — (Voir les figures photographiées A c 11^e.)

d. **Épure sphérique du canevas géodésique décimal** figurant les méridiens et les parallèles de dix en dix grades.

e. **Épure sphérique du réseau pentagonal** comprenant le tracé des cent vingt et un cercles principaux, savoir : les quinze primitifs ou hexaédriques, les dix octaédriques, les six dodécaédriques réguliers, les trente dodécaédriques rhomboïdaux; les trente bissecteurs diagonaux et les trente bissecteurs diamétraux; — coloriée méthodiquement.

f. **Épure plane** gravée intitulée : *LE RÉSEAU PENTAGONAL, résumant sur la sphère les rapports des CINQ SOLIDES RÉGULIERS, établi en géologie comme principe de la coordination des systèmes de montagnes et des autres faits d'alignement, par ÉLIE DE BEAUMONT (1850).*

Cette planche, exécutée d'abord à l'Imprimerie nationale en 1874 et reproduite après modification en 1878, présente, avec une légende détaillée, la projection orthogonale du réseau sur le plan de l'un des cercles primitifs et sa projection guomonique, pour le quart de la sphère, sur le plan tangent-horizon du centre d'un pentagone. Elle correspond à l'épure sphérique (e) par ses dimensions, ses notations et son coloriage.

g. **Applications de l'épure plane précédente.** — Exemples d'itinéraires géométriques de cercles dont les pôles sont donnés, tracés par réflexion dans un seul pentagone.

h. Notice intitulée : **Sur le réseau pentagonal de M. Élie de Beaumont** (extrait du *Bulletin de la Société géologique*, 1875), placée ici comme donnant une description sommaire du réseau.

C. ÉTUDE DES ALIGNEMENTS GÉOLOGIQUES ET APPLICATION DU RÉSEAU PENTAGONAL.

La stratigraphie est la partie géométrique de la géologie. Comme l'indique l'étymologie du mot, elle a eu d'abord pour objet l'étude des surfaces de division de l'écorce terrestre voisines de l'horizontalité, qui résultent surtout des phénomènes sédimentaires; mais elle comprend maintenant l'étude des surfaces de division voisines de la verticalité, qui résultent plutôt des mouvements de l'écorce et des phénomènes éruptifs. Ces deux études, bien que essentiellement connexes, peuvent être distinguées, en langage condensé, par les dénominations de *stratigraphie horizontale* et de *stratigraphie verticale*.

La dernière est non moins importante que la première, au point de vue pratique comme au point de vue théorique, car les surfaces de division voisines de la verticalité comprennent les filons et les failles.

Elle a pour base l'étude des alignements géologiques, poursuivie depuis les faits de dernier détail qui intéressent immédiatement l'exploitation des gîtes minéraux jusqu'aux faits d'ensemble concernant la distribution de ces gîtes et les dispositions générales des masses minérales éruptives ou sédimentaires. A tous les degrés d'ailleurs, ces faits se montrent en rapport avec les faits orographiques ou hydrographiques.

Il peut donc être utile de présenter les moyens réunis à l'École des mines pour cette étude des faits d'alignements et des résultats d'application de divers ordres.

La systématisation des alignements par le réseau pentagonal (dont les propriétés géométriques sont l'objet du paragraphe B) intervient avantageusement dans les résultats comme dans les moyens d'études, qui en sont cependant, pour plusieurs parties, complètement indépendants.

MOYENS D'ÉTUDE.

a. **Tableaux des données numériques qui fixent les cercles et les points du réseau pentagonal**, publiés par Élie de Beaumont dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences* (1863 et 1866).

b. **Notice intitulée : Sur le réseau pentagonal de M. Élie de Beaumont**, par M. B. de Chancourtois. (Extrait du *Bulletin de la Société géologique*, 1875.) Déjà mentionnée (B h).

c. **Globe au 100 000 000^e**, sur lequel on a tracé, avec les instruments sphérodésiques (voir B c) et au moyen des données numériques des tableaux C a, *les trente et un premiers cercles principaux du réseau pentagonal*.

d. **Octoplanisphère gnomonique**. Carte gravée du globe dressée en projection gnomonique sur les huit faces d'un octaèdre régulier circonscrit dont les huit triangles juxtaposés offrent le développement, avec l'indication des points principaux du réseau pentagonal qui

jalonnent le tracé rectiligne de ce réseau, établie pour l'*Étude des alignements géographiques* en général, par M. B. de Chancourtois, mise au courant des connaissances géographiques acquises en 1880.

Le globe auquel correspond l'octoplanisphère est la réduction du globe terrestre au 100 000 000°. L'un des axes de l'octaèdre a été mis en coïncidence avec l'axe des pôles, et deux des arêtes correspondent au méridien de l'île de Fer.

En vertu du principe gnomonique de la projection, les grands cercles d'alignements sont représentés par des droites; mais ces droites forment nécessairement dans le développement un polygone. Une planche annexe donne les moyens de construire le polygone déterminé par un premier côté ou par deux points appartenant à deux faces différentes, et les constructions ou les calculs à faire pour résoudre les deux questions sont expliqués dans une feuille de texte.

La planche annexe présente de plus le tracé du réseau pentagonal, et le texte, après avoir fait connaître les conditions d'exécution des deux planches et indiqué comment on peut y poursuivre les alignements *en dehors de toute systématisation*, offre aussi les données et les explications nécessaires pour l'étude et l'utilisation du réseau.

Le texte est complété par des renseignements bibliographiques et des *desiderata* concernant l'usage des cartes gnomoniques.

Le portefeuille de l'octoplanisphère est accompagné d'un octaèdre formé avec la planche du figuré géographique et pouvant tenir lieu de globe.

(Voir A d, le canevas de l'octoplanisphère, en cours d'exécution, correspondant au globe réduit au 20 000 000°.)

e. Le pentagone européen en projection gnomonique sur l'horizon de son centre.

Carte de l'Europe et des régions voisines publiée par Élie de Beaumont, avec sa notice sur les systèmes de montagnes (1852); — agrandie par la photographie de manière à correspondre au globe réduit au 20 000 000°; corrigée conformément aux connaissances géographiques acquises en 1880, et complétée par un figuré orographique. Épreuves photographiques de la minute à graver. (Voir ci-après i.)

f. **Rapporteur**, gravé; disposé pour établir les **roses de directions** qui résument les **études locales des faits d'alignements**.

Ce rapporteur, demi-circulaire, est dit *transitoire*, parce qu'il offre sur les deux limbes concentriques la graduation duodécimale et la graduation décimale; la circonférence divisée décimalement ayant un rayon de 0^m,0637, soit le 100 000 000^e du rayon terrestre, le grade a une longueur de 1 millimètre.

Deux zones sont réservées à l'intérieur de chaque limbe pour recevoir séparément les directions des alignements relevés et les directions des cercles classés, transportées par le calcul, dont le rapprochement fait apprécier les rapports. Une zone contiguë à chaque limbe est préparée pour recevoir la valeur de l'*orientation*, c'est-à-dire de l'angle d'orientation de chaque direction mesuré à partir du Nord par l'Est. Trois zones extérieures sont destinées à la désignation des cercles de comparaison classés. Dans la première, on indique les pôles des cercles, et dans la seconde les points principaux de l'itinéraire poursuivis dans un quadrant, au moyen des notations sphérodésiques que l'on tire des tableaux de données numériques (a) ou de l'octoplani-sphère (d). La dernière reçoit les dénominations géographiques ou géologiques.

ÉTUDE D'ENSEMBLE.

g. **Application du réseau pentagonal à la coordination des sources de pétrole et des dépôts bitumineux, étendue à la coordination des points ou des lignes d'éruption et d'émanation et des gîtes minéraux en général.** Mémoire de M. B. de Chancourtois. (Extrait des *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1863.)

Une des conclusions de ce mémoire est que les alignements se groupent sur le globe en *systèmes de grands cercles conjugués*, déterminés chacun par un *grand cercle normal commun*.

On a en conséquence disposé, pour la constatation ou la recherche des systèmes d'alignements conjugués par un normal, un armillaire dit à *coupes*, qui permet de faire tourner un globe géographique autour de l'axe des pôles d'un normal donné et d'amener cet axe dans le plan du limbe horizontal, à l'arasement duquel la rotation du globe

présente alors successivement tous les alignements du système mis en expérience; mais cet appareil, qui figurait à l'Exposition de 1878, n'a pu être envoyé à la présente exposition.

Les systèmes de cercles décrits sont : 1° les deux qui ont pour normaux le cercle primitif du Rhin et le bissecteur de Bassorah, formant trait carré au centre du pentagone européen; 2° les deux qui ont pour normaux le trapézoédrique du Tanganjika et le diamétral de la Loire et des bouches de l'Amazone, formant également trait carré au centre du pentagone européen; 3° celui qui a pour normal le dodécaédrique régulier de Singapour, perpendiculaire à la fois aux normaux des deux systèmes précédents et formant ainsi avec eux des triangles tri-rectangles; 4° des alignements non systématisés.

Parmi les alignements des *deux systèmes dont les normaux sont le primitif du Rhin et le bissecteur de Bassorah*, on peut citer : dans le premier système, le cercle de comparaison des Pyrénées qui passe par l'Etna, où sa direction se trouve marquée dans les principaux accidents du val del Bove; le cercle qui, passant au Vésuve et limitant l'hémicycle de la Somma, va passer au volcan de Santorin, et les faisceaux de lignes de fracture, que l'on peut suivre des gîtes de pétrole de Bakou, extrémité du Caucase, aux gîtes de la région de l'Ohio, et des bouches du Volga aux bouches du Mississipi; dans le second système, le cercle qui règle le cours du Rhin en Alsace et celui qui, passant par la Maladetta, va longer la chaîne scandinave.

Parmi les alignements des *deux systèmes dont les normaux sont les cercles du Tanganjika et de la Loire*, on peut citer : pour le premier, le cercle qui, passant par l'Etna et les Dardanelles, marque la limite Sud de l'Atlas; le cercle qui, passant au détroit de Bonifacio, va passer au volcan de l'île de Ténériffe dont il limite l'hémicycle; le faisceau qui joint les gîtes de mercure d'Almaden et d'Idria; le faisceau qui comprend les plus hautes cimes des Carpathes, des Alpes et des Pyrénées, et le cercle qui, passant par la Côte-d'Or et les marais de Pinsk, accuse encore un caractère anticlinal dans les plaines de la Russie en détournant le Volga; — pour le second, à côté du cercle du Tanganjika, celui qui suit la Gironde et les côtes de l'Océan; celui qui relève Londres, Paris et Lyon; celui qui, partant de l'Etna, va

régler le cours du Rhin au-dessous de Coblentz; celui qui, après avoir réglé le cours du Pruth, relève l'embouchure du Bosphore et le sommet du delta du Nil.

(Voir, pour plus ample description, les notes s C g, C k.)

h. Étude d'alignements géographiques et géologiques sur l'octoplanisphère gnomonique. (Voir C d.)

Deux octoplanisphères présentent séparément les deux couples de systèmes ci-dessus mentionnés 1° et 2° (panneau).

i. Étude d'alignements géographiques et géologiques généraux sur la carte gnomonique du pentagone européen.

On a figuré ensemble sur cette carte (C e) les deux couples de systèmes d'alignements figurés séparément sur les deux octoplanisphères (panneau).

j. Étude d'alignements géographiques et géologiques sur le tableau d'assemblage de la Carte géologique de la France.

Les mêmes systèmes d'alignements ont enfin été tracés ensemble sur cette carte au 2 000 000", qui est due à Brochant de Villier, Dufrenoy et Élie de Beaumont, et qui porte, ainsi que la carte de la France au 500 000", les cercles du réseau pentagonal ajoutés par Élie de Beaumont (panneau).

k. Étude des alignements géologiques, c'est-à-dire orographiques, hydrographiques et stratigraphiques (extrait du *Compte rendu sténographique du premier Congrès international de géologie tenu à Paris en 1878*), et *Note sur les alignements géologiques* (extrait des *Comptes rendus du Congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences*, 1878).

Ces notes développent les explications relatives aux trois études précédentes (h, i, j).

ÉTUDES LOCALES.

l. Distribution des gîtes minéraux subordonnés aux dépôts sédimentaires, par faisceaux d'alignements parallèles aux autres alignements géologiques et aux directions des systèmes de mon-

tagnes dans la région de la Haute-Marne, figurée sur la carte géologique de ce département au 80 000° (exécutée par M. Duhamel, revue et complétée par MM. Élie de Beaumont et B. de Chancourtois, et publiée à l'Imprimerie impériale, 1862), avec une rose des directions observées.

m. Études stratigraphiques jointes à la carte précédente. Mémoires dans lesquels Élie de Beaumont a discuté des remarques sur les rapports qui existent entre les directions constatées et celles des cercles de comparaisons de ses systèmes de montagnes; et M. B. de Chancourtois, après avoir décrit les faits d'alignements qu'il a observés et qui font le sujet des remarques précédentes, étend ce genre d'étude au tiers N. E. de la France, à l'aide de la carte géologique au 500 000°.

n. Rose des directions observées et rapportées, résumant l'étude graphique des plis, des failles et des fissures jalonnés par les gîtes de minerais de fer dans le nord de la France, du même ordre que la précédente.

Cette étude, exposée en 1878, a été faite sur un fragment de la Carte géologique détaillée de la France au 80 000°, composé de quatre des vingt-deux feuilles exécutées avant 1874, Élie de Beaumont étant directeur du service, et M. B. de Chancourtois sous-directeur; savoir : Montreuil, Arras et Saint-Omer, par M. Potier; Boulogne, par M. Douvillé.

p. Alignements géologiques de la région du Pas-de-Calais signalés dans les observations sur l'exploration géologique du détroit faite par MM. Lavalley, Larousse, Potier et de Lapparent, pour la question du tunnel. (Extrait du *Bulletin de la Société géologique de France*, 1875.)

Entre autres indications, cette note fait ressortir la coïncidence des deux plis constatés près des côtes de la France et de l'Angleterre, dans le voisinage de Calais et de Douvres, et de deux alignements antérieurement remarqués du système dont le normal est le cercle du Tanganjika. Elle signale la possibilité sinon la probabilité d'accidents

de fracture dirigés perpendiculairement, c'est-à-dire sur des alignements du système dont le normal est le cercle de la Loire.

q. Étude des alignements géologiques relevés aux environs de Vernon. (Extrait du *Bulletin de la Société géologique*, 1878.)

La note de M. B. de Chancourtois et la planche lithographiée exécutée par ses soins font partie du compte rendu, présenté en commun avec M. Douvillé, de l'une des courses faites à la suite du Congrès de géologie de 1878. L'étude porte sur les alignements des cours d'eau et des vallées, des flancs abrupts des terrasses qui dominant la Seine, des failles et fissures de la craie, et enfin des dykes d'argile et d'arènes kaolineuses. Elle fait ressortir l'influence des fentes du terrain sur le régime des eaux artésiennes dont la nappe inférieure au gault a été utilisée par le forage de la Madeleine représenté sur la planche.

D. IMITATION DES ACCIDENTS OROGRAPHIQUES DE SOULÈVEMENT.

a. Moyens simples d'imiter les chaînes de montagnes sur un globe et les cirques volcaniques sur un plan, d'après le principe de la théorie des soulèvements, et réalisation de l'imitation automatique des chaînes de montagnes, par M. B. de Chancourtois. (Notes extraites des *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1878.)

Une communication avait d'abord indiqué les moyens d'imitation, en rappelant une première imitation automatique des chaînes de montagnes obtenue vers 1853, mais restée inédite. Des spécimens de la réalisation de cette imitation automatique ont été ensuite présentés.

b. Imitation automatique des chaînes de montagnes sur un globe réduit au 100 000 000^e.

Reproduction héliographique de deux spécimens montrant : le premier, la tendance aux formes polygonales avec simples rebroussements sur une écorce mince; le second, la tendance aux longs alignements avec chevauchement sur une écorce plus épaisse.

c. Imitation des cirques volcaniques sur un plan.

Reproduction photographique (au portefeuille) de deux spécimens

imitant : l'un, l'hémicycle ovale de Ténériffe qui entoure le pic au S. O. ; l'autre, l'hémicycle rond de la Somma qui entoure le Vésuve au N. E.

E. CLASSIFICATIONS GÉOLOGIQUES.

Sous cette rubrique devaient être exposés, dans leur dernière forme, les tableaux des classifications en usage dans les leçons du cours de géologie de l'École des mines faites par M. de Chancourtois depuis 1869, et dont les principes avaient déjà présidé à la rédaction des tableaux de lithologie, de stratigraphie et de chronologie géognostique qui font partie des généralités de la Carte géologique détaillée de la France (voir ci-dessus A a 7°). Mais, par suite de divers embarras accidentels, la plupart de ces tableaux ne pourront sans doute être reproduits pour l'ouverture de l'Exposition. Il a paru toutefois nécessaire de les mentionner tous, afin de faire ressortir l'enchaînement méthodique des différentes études dont ils résument les conclusions. Des explications ne sont données dans la présente notice que pour ceux qui seront sûrement envoyés.

Ceux, dont on donne seulement les titres, qui pourraient être encore expédiés en temps utile seront accompagnés de leurs explications.

LITHOLOGIE.

a. **Tableau intitulé Lithologie synthétique. — Première division cardinale du sujet, déterminée par les conditions originaires, les modes de formation et les allures des masses minérales.**

La division est dite *cardinale* parce qu'elle fait distinguer quatre grandes catégories qui sont deux à deux contrastantes.

Le tableau contient des dénominations nouvellement proposées en vue d'une réforme rationnelle de la nomenclature. Les observations suivantes facilitent l'appréciation du sens intentionnel et de la portée de ces dénominations, qui ne sont d'ailleurs employées, dans les titres des tableaux suivants, qu'accompagnées de synonymies en termes usités.

Dans l'ensemble des *masses éruptives* auxquelles, pour la plupart, s'applique communément la dénomination de *roches*, et que l'on peut

appeler *analithes* d'après la prédominance du mouvement de bas en haut dans les circonstances de leur production et aussi de la *verticalité* dans la structure plus ou moins régulièrement *prismatique* des masses typiques, on distingue deux catégories, savoir : (I) celle des roches *communes* fondamentales ou de résidu dites *endogènes*, en un mot les *endolithes*; et (II) celle des masses *exceptionnelles* de départ et d'émanation dites *exogènes*, en un mot les *exolithes*.

Au point de vue lithologique on ne saurait séparer de l'ensemble des masses éruptives, ni les roches *primordiales* ou *schistocristallines* (gneiss et micaschistes), dont la condition de gisement tout à fait inférieure accuse du reste la relation directe avec le noyau interne, ni les masses sédimentaires, dans lesquelles le métamorphisme a complètement effacé le caractère originel.

Il a paru d'ailleurs indispensable de rappeler tout d'abord que l'étude des masses *typiques*, c'est-à-dire nettes et vives, doit être complétée par celle des masses *diamorphiques*, c'est-à-dire imparfaites ou altérées (comme les argilophyres), dans lesquelles la structure prismatique passe à des structures *indéterminées* et qui prédominent ordinairement dans les parties observables des gisements.

Dans l'ensemble des masses sédimentaires auxquelles convient particulièrement l'ancienne dénomination de *dépôts*, et que l'on peut appeler *catalithes* d'après la prédominance du mouvement de haut en bas dans les circonstances de leur formation et aussi de l'*horizontalité* dans la structure plus ou moins régulièrement *stratifiée* des masses typiques, on distingue deux catégories, savoir : (III) celle des dépôts de précipitation chimique et de sécrétion organique dont la substance, amenée au point où elle se fixe par dissolution, par suspension dans l'état floconneux ou par lévigation, peut provenir de lieux éloignés et, en tout cas, n'accuse pas ordinairement son origine par un lien manifeste, dépôts qui par suite méritent la qualification d'*indépendants* ou la dénomination univoque d'*apolithes*, et (IV) celle des dépôts dus à des entraînements mécaniques dont la matière est fournie par des masses de constitution antérieure, auxquelles ils se rattachent manifestement et qui méritent par suite la qualification de *dépendants* ou la dénomination univoque de *pérolithes*.

Il n'est pas inutile de faire remarquer que, au point de vue lithologique, on ne pourra toujours séparer de l'ensemble des dépôts sédimentaires les masses d'épanchement éruptif dont le caractère originel est complètement dissimulé par le diamorphisme, et que, d'un autre côté, en raison de l'apparence stratifiée des gneiss et des micaschistes, qui sont même considérés, dans certains cas, comme des produits sédimentaires métamorphiques, il faut, à la qualification générale de *sédimentaires* employée pour définir l'ensemble des catégories III et IV, joindre la restriction *non primordiales*.

Mais il va presque sans dire que, à l'étude des masses typiques, c'est-à-dire *nettes* ou *fraîches* à structure franchement *stratifiée*, se trouve liée sans démarcation possible celle des masses *métamorphiques*, jusqu'au point, inclusivement, où elles arrivent à prendre la structure *tabulaire*.

L'indication de spécimens classés méthodiquement, bien que comportant encore quelques corrections, précise suffisamment la constitution de chaque catégorie et prouve en même temps la justesse des nouvelles dénominations univoques, dont l'emploi épargnerait les additions ou les réserves qu'exige celui des dénominations usitées, comme le montrent les précédentes observations.

b. **Classification des textures uniformes et accidentées des Analithes** (roches éruptives et masses filoniennes).

c. **Classification, au point de vue lithologique, des espèces minérales qui entrent dans la composition des Endolithes** (roches communes) **et des Exolithes** (produits éruptifs de départ et d'émanation), soit à titre d'éléments intégrants, soit à titre d'éléments disséminés caractéristiques.

d. **Classification sommaire des Endolithes et des Exolithes** comprenant les eaux minérales et les produits éruptifs gazeux.

e. **Classification des textures des Catalithes** (dépôts sédimentaires).

e'. **Aperçu d'une Classification des êtres organisés à établir, principalement par la considération de leur mode d'existence et de leur forme, pour régulariser le signalement des caractères de texture fondamentaux ou accidentels que leurs vestiges impriment aux catalithes.**

f. **Classification des matières minérales ou fossiles qui constituent les Apolithes** (dépôts indépendants, de précipitation chimique et de sécrétion organique) **et les Périlithes** (dépôts dépendants, d'accumulation mécanique).

g. **Classification sommaire des Apolithes et des Périlithes** comprenant les eaux superficielles et les gaz de l'atmosphère.

h. **Classement naturel des corps simples ou radicaux**, intitulé : **Vis tellurique**.

L'observation des rôles que jouent les corps élémentaires dans l'écorce terrestre, les masses d'eau et l'atmosphère a conduit à ébaucher d'une manière déjà fort exacte le classement en question, que l'on a pu ensuite préciser et figurer géométriquement par la prise en considération des nombres qui, donnant les valeurs relatives des capacités calorifiques et des poids atomiques de ces corps, les caractérisent de la manière la plus abstraite, et par l'emploi d'une hélice sur laquelle chaque corps est inscrit à l'extrémité d'un arc proportionnel à son nombre caractéristique, la spire représentant le nombre 16 de l'oxygène. De là le titre adopté. Le tableau formé par le développement du cylindre de l'hélice est accompagné, à titre d'explication, d'un recueil d'extraits des comptes rendus des séances de l'Académie des sciences (1862 et 1863).

Une telle explication exigerait une refonte, ne fût-ce que pour y tenir compte des déterminations physiques et chimiques faites depuis la publication du système. Mais il est à noter que les corrections, d'ailleurs très peu nombreuses apportées au tableau par ces déterminations, ne font que confirmer la justesse de son principe, dont la valeur est, sous le rapport lithologique, particulièrement prouvée par les remarques suivantes.

Sur le développement du cylindre sont tracées seize génératrices équidistantes, dont chacune relève périodiquement sur les spires successives les marques de corps appartenant à une famille naturelle. La septième génératrice relève sur la deuxième, la troisième et la quatrième spire les marques des éléments essentiels des *feldspaths alcalins*, c'est-à-dire du sodium, du potassium et du manganèse, la place de ce dernier

pouvant être occupée par l'aluminium avec la formule AlO^3 pour l'alumine. La huitième génératrice relève aux mêmes spires les marques du magnésium de calcium et du fer, c'est-à-dire des éléments essentiels des *pyroxènes*. Ensuite, de part et d'autre de ces génératrices moyennes, se trouvent : sur les génératrices précédant la septième, les marques des métaux qui forment le cortège des roches dites *feldspathiques*, et, sur les génératrices suivant la huitième, les marques des métaux qui forment le cortège des roches dites *pyroxéniques*.

STRATIGRAPHIE.

(Voir ci-dessus A a b et C, *Observations préalables*).

CHRONOLOGIE GÉOGNOSTIQUE.

i. Observations sur la Classification chronologique des formations.

Extrait, inséré aux comptes rendus de l'Académie des sciences (1875), d'un mémoire accompagné de tableaux ayant pour objet de préparer l'institution d'un classement naturel, établissant d'abord que, à bien regarder d'un point de vue général, il y a concordance entre les conditions minéralogiques et les conditions paléontologiques des groupes éruptifs et des étages sédimentaires, démontrant ensuite une *loi de récurrence* exposée depuis 1865 dans le cours de l'École des mines.

Les conclusions de ce travail, dont il a été tenu compte dans la combinaison du cadre de la légende géologique générale de la Carte géologique détaillée de la France et dans la rédaction des trois premières feuilles du tableau de chronologie géognostique (voir A a 7°), et qui ont été depuis rendues plus précises, peuvent être maintenant résumées de la manière suivante :

Il y a lieu de distinguer à la base de la double série des formations éruptives et sédimentaires un ensemble de termes correspondant à une *période préliminaire*, dont les formations complètement *azoïques* (gneiss et micaschistes) ont nécessairement un caractère mixte comme produites dans la consolidation initiale de la surface du magma fluide.

Il conviendrait de fixer l'application des mots *primaire*, *secondaire* et *tertiaire* en considérant : la *période primaire* comme s'étendant depuis l'origine du terrain cambrien jusqu'à la fin du terrain anthracifère.

y compris le terrain houiller inférieur ou littoral; la *période secondaire* comme s'étendant depuis le commencement du terrain houiller supérieur ou lacustre jusqu'à la fin du terrain crétacé; la *période tertiaire* comme s'étendant depuis le commencement du terrain éocène jusqu'à la fin du terrain miocène, en rattachant à ce terrain une partie des formations que l'on comprend souvent sous la dénomination mal assise de terrain pliocène.

Il conviendrait enfin de distinguer une période qui, comprenant l'époque du grand développement des phénomènes glaciaires et l'époque actuelle, mériterait la qualification de *récente* ou de *finale*, ou au moins de *post-tertiaire*, pour exclure celle de *quaternaire*, et serait d'ailleurs bien dite *holozoïque*.

Mais une conclusion plus importante est la *division de la période secondaire* délimitée comme il vient d'être dit en deux parties dont la démarcation serait entre le trias et le lias.

En effet, on aperçoit facilement dans la suite des dépôts sédimentaires, à partir de cette démarcation, une récurrence sériale des conditions lithologiques accompagnée d'une évolution paléontologique comparable à celle des temps antérieurs.

D'un autre côté, si les trois conditions de texture des roches éruptives (granitoïde, lithoïde et trachytoïde) prédominent respectivement dans les périodes primaire, secondaire et tertiaire, il n'en est pas moins démontré maintenant que, au-dessus sinon à partir de la même démarcation, une récurrence sériale est bien accusée, à l'égard de la texture, par une dégradation de la condition la plus cristalline à la condition la plus vitreuse qui correspond à la dégradation semblable observée dans la série antérieure, et la récurrence est aussi bien manifestée au point de vue de la composition, tant dans les roches communes que dans les produits filoniens.

On semble donc bien autorisé aujourd'hui à subordonner la classification des formations à une division *binaire* de l'ensemble primaire, secondaire et tertiaire, manifestée par le tableau suivant, où les terrains sédimentaires de la section postérieure sont mis en regard des terrains de la section antérieure dont ils reproduisent ou rappellent la constitution.

TERRAINS OU SYSTÈMES DE LA SECTION POSTÉRIEURE.		GAMME SPECTRALE.	TERRAINS OU SYSTÈMES DE LA SECTION ANTÉRIEURE.	
Tertiaire.	Miocène comprenant le mio- liocène.	Rouge.	Triasique.	Secondaire.
	Éocène	Orange.	Permien et houiller supé- rieur.	
Secondaire.	Crétacé proprement dit, com- prenant le cœnomanien?	Jaune.	Houiller inférieur, anthra- cifère et condrusien?	Primaire.
	Aptien et néocomien	Vert.	Dévonien, moyen et infé- rieur.	
	Oolithique	Bleu.	Silurien.	
	Liasien et rhétien	Violet.	Cambrien, comprenant la zone de la faune 1 ^{re} .	

Ce tableau montre de plus que, si l'on réduit à douze le nombre des grands ensembles appelés *terrains* ou *systèmes*, on peut faire prédominer successivement les six couleurs principales du spectre dans la composition des teintes figuratives qui, appliquées à la série *antérieure* avec des nuances foncées ou rabattues mais toujours transparentes et d'ailleurs différentes de celles, très claires, que l'on appliquerait à la série *postérieure*, compléteraient l'heureux effet déjà bien apprécié dans la Carte générale de la France de Brochant de Villiers, Dufrénoy et Élie de Beaumont, où ce système de coloriage méthodique a été nettement inauguré pour la série postérieure.

Le noir ne servirait qu'à marquer les affleurements des faisceaux de couches de combustible.

Les couleurs vives et crues étant comme d'habitude employées pour marquer les affleurements des roches éruptives, on appliquerait aux terrains de la période préliminaire, dans laquelle on peut voir une sorte de prélude de l'évolution lithologique complète, des teintes complémentaires franches, mais pâles, notamment de rose (gneiss) et de vert clair (micaschiste).

Le fond blanc du papier serait réservé aux formations de l'époque

actuelle, et les autres formations de la période récente, dans l'ensemble desquelles on peut voir un résumé de la même évolution, seraient distinguées par l'application graduée de la couleur dite *teinte neutre*.

Ce système naturel offre d'ailleurs une base sur laquelle on peut facilement établir, pour les figurés des études de détail, un système complémentaire également méthodique, admettant pour chaque terrain, avec la gradation et une certaine variation de la teinte fondamentale, l'introduction, par alternance, de teintes dérivant de la couleur complémentaire de celle qui domine dans cette teinte fondamentale.

Le coloriage des premières feuilles publiées par le service de la Carte géologique détaillée de la France avait été combiné, d'après le principe des alternances complémentaires, sur une base qui différait seulement de celle posée dans le tableau ci-dessus en ce que l'application de la gamme spectrale à la série postérieure était limitée à l'Éocène, le rouge avec alternance de vert étant affecté au Parisien, et que l'application d'une nouvelle gamme était commencée au Miocène par l'emploi du violet avec le jaune. Des assemblages de ces feuilles ont figuré déjà dans diverses expositions et leur effet a été en général favorablement apprécié. C'est donc, non seulement comme très rationnel, mais comme ayant subi l'épreuve de la pratique, qu'il semble permis de recommander le système entier à l'attention des géologues.

La plupart des documents, cartes, dessins, photographies, gravures, héliographies, modèles et instruments réunis sous le titre : Questions de géologie synthétique, sont dus à M. Béguyer de Chancourtois, inspecteur général au corps des mines, professeur de géologie à l'École supérieure des mines, qui les a produits personnellement ou avec des collaborations de diverses catégories : calcul et dessin géographiques et géologiques, dessin géométrique, photographie, gravure en taille-douce, héliographie, photo-typogra-

phie, construction de modèles et instruments de précision, impressions en taille-douce et lithographique, typographie, édition; dont les participations sont indiquées par la mention des lettres qui désignent les articles catalogués ci-dessus dans la liste suivante, présentant par ordre alphabétique les noms des collaborateurs :

MM. Arnous de Rivière, typ. (A a 1°, C d); Bertaux, constr. édit. (B b, C d); Bulloz, phot. (C e); Chapellier, grav. géogr. (C d); Chauvin, lith. (E a); Constans, dess. géogr. (C d); Dujardin, héliogr. (A c, B f, D b); Dumoulin-Froment, const. instr. (A c, 11, 19, 20, B c, C g); Dunod, édit. (A a 4°, 5°, 6°); Erhard, impr. lith. (C d, E h); Eudes, impr. t. d. (B f, C d, C f); Gauthiers-Villars, typ. édit. (A c, A d, A e, C g, C m, E h, E i); Gillot, phot. typ. (C e); Jeddinski, dess. géol. (C h, C l); Leclère, grav. lett. (C d, C f); Lejard, dess. géol. (A c, 2, 4, 6; C h, C bi, C j, C n); Lemer cier, impr. lith. (C q); Lenoir, dess. géom. (B f); Lorisignol, grav. géogr. (C d); Martinet, typ. (A b 2°); Michelet, phot. typ. (E a); Parquet, dess. et calc. géogr. (A c, A e, 5; C d, C e); Pérot, grav. géom. (B f, C f); Picard, dess. géogr. (A c 3°, C d); Al. Quinet, phot. (A a); Thoulet, calc. géogr. (C d); Wagner, dess. géol. (A c, 9, 10; B d, B e, C c).

Cinq collaborateurs, qui ont désiré garder l'anonymie, ne sont pas signalés dans cette liste, bien que leur intervention ait été d'une efficacité particulière pour la réalisation des articles A a 2, C d, C q, D b.

On a indiqué à chaque article, lorsqu'il y avait lieu, le concours de l'Imprimerie nationale.

CARTE GÉOLOGIQUE DÉTAILLÉE DE LA FRANCE.

GÉNÉRALITÉS.

Le service de la Carte géologique détaillée de la France a envoyé à l'Exposition nationale des mines et arts métallurgiques organisée à Madrid les objets suivants :

1° Panneau contenant dix feuilles de la Carte au $\frac{1}{80\,000}$ et représentant la constitution géologique de la lisière orientale du plateau central (Morvan, Charollais et Beaujolais), par MM. Michel-Lévy, Delafond et Vélain;

2° Panneau sur lequel est figurée la constitution géologique du Cantal au $\frac{1}{50\,000}$, par M. Fouqué;

3° Quatre feuilles au $\frac{1}{80\,000}$ de la plaine étendue sur le revers septentrional des Pyrénées, par MM. Jacquot, Linder, Paul et Jean Doumerc.

Ces trois panneaux constituent l'exposition murale du service de la Carte géologique.

Il y a en outre :

4° Les six feuilles de la Carte géologique générale, par MM. Brochant de Villiers, Dufrénoy et Élie de Beaumont; l'atlas paléontologique de M. Bayle; les trois volumes de texte explicatif et le fascicule du quatrième volume;

5° Un grand atlas comprenant toutes les feuilles publiées par le service de la Carte détaillée, avec leurs notices explicatives;

6° Deux volumes de mémoires pour servir à l'explication

de cette dernière Carte, savoir : minéralogie micrographique, par MM. Fouqué et Michel-Lévy (1 vol. de texte et atlas); description du pays de Bray, par M. de Lapparent.

A l'occasion de l'Exposition de Madrid, il a paru opportun de rappeler les phases par lesquelles a passé l'exécution de la Carte géologique détaillée de la France et de faire connaître l'état d'avancement du travail.

L'exécution aux frais de l'État de la Carte géologique détaillée de la France a été prescrite par décret du 1^{er} octobre 1868. Un arrêté ministériel du 15 du même mois a organisé le service spécial chargé d'entreprendre ce grand travail, et il l'a placé sous la haute direction de M. Élie de Beaumont, sénateur, membre de l'Institut, professeur de géologie à l'École des mines.

Le rapport du 30 septembre contenant l'exposé des motifs du décret, tout en fixant le but de l'œuvre, a déterminé d'une manière générale les conditions dans lesquelles elle devait être entreprise. Le but déclaré était de reprendre le travail inauguré en 1835 par l'institution des cartes géologiques départementales, et de le terminer en y apportant les vues d'ensemble qui pouvaient seules en assurer l'homogénéité. Quant aux bases essentielles arrêtées pour la confection de l'œuvre, elles étaient également définies dans le rapport. Les relevés géologiques du sol devaient être effectués et reportés sur la Carte du Dépôt de la guerre au $\frac{1}{50\,000}$. On avait prévu qu'un terme de dix années suffirait à l'achèvement des études sur les 286 feuilles de cette Carte, entre lesquelles le territoire français était alors divisé. Le tirage de chaque feuille devait avoir lieu à 200 exemplaires. Enfin la dépense était évaluée à 1 million de francs.

A la suite du décès de M. Élie de Beaumont survenu en 1874, le service de la Carte géologique détaillée a dû être l'objet d'une réorganisation. L'Administration des travaux publics n'y a procédé qu'avec mesure et après avoir pris l'avis d'une commission composée de trois inspecteurs généraux. L'enquête à laquelle cette commission s'est livrée a principalement porté sur la composition des services géologiques étrangers et sur leur manière de procéder; elle a établi qu'il y avait une disproportion manifeste entre le plan conçu pour l'exécution de la Carte de la France et les moyens dont le service, tel qu'il était constitué, disposait pour mener l'œuvre à bonne fin. Le remède à une pareille situation lui a paru résider dans l'adjonction au service central de collaborateurs auxiliaires désignés par leurs études antérieures au choix de l'administration. A l'exemple de ce qui se pratiquait dans quelques services étrangers et en vue de faciliter l'analyse des échantillons recueillis, elle a également proposé d'admettre au service de la Carte l'ingénieur en chef directeur du bureau d'essais établi à l'École des mines.

D'un autre côté, l'attention de l'Administration des travaux publics a été appelée sur la nécessité d'imprimer à la Carte géologique une direction telle qu'elle restât pour ainsi dire une œuvre impersonnelle, indépendante de tout système et pouvant être accueillie sans discussion et sans réserve par la généralité du public spécial auquel elle était destinée.

Le service de la Carte géologique a été reconstitué par un arrêté du 21 janvier 1875, qui en a confié la direction à M. Jacquot, inspecteur général des mines. Une commission chargée de donner son avis sur toutes les questions se rattachant à l'exécution de la Carte a été en même temps insti-

tuée. Cette commission est simplement consultative, et le directeur est seul responsable envers le ministre.

Dans les huit dernières années, tous les efforts de la direction nouvelle ont eu pour objet de mettre en pratique les vues qui avaient présidé à la réorganisation du service. La réforme, aussi large que libérale, introduite dans le recrutement du personnel a été adoptée en principe dès 1875 : mais elle n'a pu être mise à exécution que l'année suivante, par suite de l'insuffisance des crédits alloués. En 1876, le service géologique, réduit auparavant à six membres actifs, s'est accru de treize collaborateurs pris, en général, parmi les professeurs des Facultés et les ingénieurs des mines. Il compte actuellement quarante-trois membres dont huit au service central. La dotation annuelle de la Carte géologique détaillée est de 80,000 francs. Le délai actuellement prévu pour son exécution peut être évalué à vingt-cinq années comptées à partir de l'année 1876 ; mais ce n'est là qu'une approximation que l'on ne saurait garantir.

Parmi les autres réformes dont l'exécution de la Carte géologique a été l'objet, il est impossible d'omettre, à raison de son importance, celle qui a été apportée au mode de publication. Conformément aux propositions du directeur et à l'avis de la commission consultative, le tirage des feuilles de la Carte a été porté de 200 à 500 exemplaires, et l'impression en couleur a été substituée au coloriage à la main. Cette modification dans le procédé d'exécution a permis de réduire de moitié les prix de vente. On a pu les abaisser assez pour qu'ils ne dépassent plus guère ceux des exemplaires gravés de la Carte du Dépôt de la guerre.

Sur les 268 feuilles de cette Carte, entre lesquelles se

divise le territoire français, le service géologique en a déjà publié 60. En outre, les explorations sont terminées sur 21 feuilles qui sont en cours de publication. Enfin elles portent actuellement sur 63 autres feuilles, soit au total 144 feuilles à divers degrés d'avancement.

Le groupe de beaucoup le plus important embrasse toute la partie septentrionale de la France; il comprend le bassin tertiaire parisien et sa ceinture crétacée et jurassique. La Flandre, l'Artois, la Picardie, la Champagne, l'Île de France, la Brie, la Beauce, le Gâtinais, la Normandie, le Perche, l'Orléanais, le Berri et le Maine sont représentés en totalité ou en partie dans ce groupe. En dehors de l'espace qu'il recouvre, les feuilles publiées ou en cours d'exploration sont réparties à la surface du territoire de façon à en embrasser les régions les plus diverses. Ainsi vers l'Est, on y trouve l'Ardenne, la Lorraine, la Côte-d'Or et le Jura; au Sud-Est, les Alpes du Dauphiné et de la Savoie, la Provence et le comté de Nice. Dans le centre, les explorations portent sur le Morvan, le Charollais, le Beaujolais et le Cantal, qui comptent déjà plusieurs feuilles publiées. L'Aquitaine et les Pyrénées au Sud-Ouest entrent également pour plusieurs unités dans le nombre des feuilles terminées. Enfin à l'Ouest, le Poitou, la Bretagne et le Cotentin sont l'objet d'études suivies qui ont déjà donné des résultats. En résumé, les explorations pour l'exécution de la Carte géologique détaillée de la France embrassent actuellement le territoire entier dans un réseau dont les mailles sont de plus en plus serrées et qui est de nature à mener l'œuvre à bonne fin par les comparaisons qu'il facilite.

CARTE DU MORVAN

ET DE SES ATTACHES AU PLATEAU CENTRAL.

MONTAGNES DE LA MADELEINE ET DU BEAUJOLAIS AU $\frac{1}{80\ 000}$.

Cette carte comprend les feuilles d'Avallon, de Château-Chinon, d'Autun, de Chalon-sur-Saône, de Charolles, de Mâcon et de Bourg. On y a de plus reporté les contours du bassin d'Épinac qui empiètent sur la feuille de Beaune et ceux de la feuille de Roanne que l'on doit aux travaux de M. Gruner sur le département de la Loire.

Prise dans son ensemble, la région comprend le Morvan, sorte de cap rocheux qui s'avance vers le Nord au milieu des terrains secondaires, et ses attaches au plateau central par les montagnes du Charollais, du Beaujolais et de la Madeleine qui le relie aux chaînes des Cévennes et du Forez.

Au point de vue géographique, cet ensemble présente un intérêt particulier et peut être considéré comme le faite du toit continental, car il comprend le point de partage des eaux qui, par la Seine et ses affluents, se dirigent vers la Manche, par la Loire vers l'Océan, par la Saône vers la Méditerranée.

On peut y introduire, au point de vue topographique, trois grandes divisions qui correspondent au Morvan, à la grande dépression du bassin de Blanzky, aux attaches montagneuses qui séparent les vallées à peu près parallèles de la Saône, de la Loire et de l'Allier. Mais ces divisions topographiques ne font que mieux ressortir l'unité de composition géologique des roches profondes ramenées au jour par

une série uniforme de soulèvements et d'érosions consécutives.

Tout l'ensemble est affecté par une même disposition zonaire, à direction moyenne N. E., qui fait apparaître successivement des bandes de gneiss, de granite, de terrains cambrien, dévonien et carbonifère; ces trois derniers se montrent généralement côte à côte. Les éruptions de granulite, de microgranulite et de porphyres présentent des contours moins réguliers que les bandes précédentes; cependant leurs massifs sont en général allongés dans le même sens.

C'est à un soulèvement de montagnes intercalé entre le carbonifère (houiller inférieur) et le houiller (supérieur) qu'il convient de rapporter le plissement énergique qui se traduit encore actuellement, dans le relief du sol, par l'existence de ces bandes régulières de terrains si variés.

Il a été suivi du dépôt de bassins limités de terrains houiller et permien, qui sont les produits partiels de grandes érosions consécutives. Ainsi, à peine formées, les montagnes primitives de ces régions ont commencé à se détruire et à se niveler.

Entre le permien et le trias s'est produit comme l'épilogue du grand phénomène dynamique précédent. Des plissements N. E. ont encore affecté le houiller supérieur et le permien, qui sont cependant en discordance complète avec les terrains précédents; surtout de grandes failles se sont produites suivant la direction N. E. et sa perpendiculaire N. O. Plusieurs d'entre elles, sans doute béantes et réouvertes pendant une longue suite de siècles, ont servi d'évents à des sources thermales abondantes auxquelles les

anciennes fractures doivent leur remplissage minéral si varié, surtout quartzeux, qui constitue çà et là un trait caractéristique du paysage; en plusieurs endroits, les rochers aigus constitués par les affleurements de ces filons ont été pris pour des monuments druidiques.

L'érosion avait dû accomplir son œuvre avant le dépôt du trias et singulièrement niveler la majeure partie du Morvan et du Beaujolais, car on y rencontre encore actuellement, sur de hauts sommets, des lambeaux de trias et de lias. On ne peut même constater nettement des indices de rivages que jusque dans le lias moyen.

Seulement des phénomènes de soulèvement relativement récents ont surélevé divers lambeaux de ces formations que le géologue est surpris de trouver au sommet des plus hautes montagnes actuelles; ainsi le lias atteint dans le Morvan l'altitude de 641 mètres; le trias recouvre le faite de la montagne d'Avenas dans le Beaujolais à une hauteur de 894 mètres.

C'est à des plis surbaissés et surtout à de grandes failles qu'il faut rapporter ces surélévations anormales. Leur âge et leurs directions sont importants à fixer, car c'est à ces accidents qu'il faut rapporter les traits orographiques dominant, encore à notre époque, dans la physionomie générale de la contrée.

La direction n'est pas douteuse; elle se rapproche en moyenne du N. N. E. Seulement quelques violentes réouvertures ont en même temps affecté les anciennes failles et notamment certains faisceaux N. O. Quant à l'âge, il est moins nettement défini, mais il est certainement compris entre l'éocène et le pliocène. Peut-être y a-t-il lieu de rap-

porter les grandes failles occidentales du Nivernais à l'âge du Sancerrois et des Pyrénées (éocène-miocène), et la plupart des failles orientales (Chalon, Mâcon) au soulèvement du Jura et des Alpes (miocène-pliocène).

Ainsi, grand plissement N. E. de l'âge houiller ; grandes failles N. E. et N. O. permo-triasiques ; enfin nouvelles grandes failles miocènes N. N. E., presque N. S., voilà les traits saillants qui ont laissé leur empreinte dans l'orographie et l'hydrographie du Morvan et de ses attaches au plateau central.

Postérieurement à ces derniers phénomènes dynamiques, des érosions formidables ont dû fournir au pliocène et aux terrains quaternaires les éléments qui leur ont permis de recouvrir de si vastes étendues et de combler de si profondes dépressions. La majeure partie du Morvan tout au moins et tout le Beaujolais ont été jadis recouverts par une partie des terrains secondaires. Or, ils n'y existent plus qu'à l'état de lambeaux infimes et peu nombreux. Si l'on ajoute que, sous ces lambeaux généralement plaqués au sommet de hautes montagnes, l'érosion a continué son œuvre aux dépens des roches anciennes sur une épaisseur dépassant souvent 500 mètres, on concevra qu'il faille surtout rapporter aux actions séculaires des eaux le dernier modelé de la région. Le Morvan et le Beaujolais sont à proprement parler des montagnes d'érosion.

Divers indices topographiques confirment cette opinion, tels que l'existence de cirques autour des points culminants (la Brûlée, le Saint-Rigaud), d'où divergent, en éventail assez régulier, les naissances des principales vallées. Nous devons ajouter que nos explorations ne nous ont pas per-

mis de reconnaître, soit dans le Morvan, soit même dans le Beaujolais, des indices certains ou même vraisemblables d'anciens glaciers. C'est donc aux pluies torrentielles qu'il convient de rapporter ces puissantes érosions, et la situation même des points culminants de la région en fait actuellement des condenseurs puissants de l'humidité atmosphérique : ce sont les premiers sommets élevés que rencontrent les vents d'Ouest à leur entrée sur la région continentale.

Formation gneissique. Si nous parcourons rapidement la légende à laquelle nous nous sommes arrêté, en commençant par les formations les plus anciennes, nous trouvons un ensemble de gneiss, de leptynites, d'amphibolites et de serpentines qui constituent la base et comme le substratum de la contrée.

Pré-Cambrien et Cambrien. Puis viennent des schistes micacés et maclifères, des lentilles de cipolin et des quartzites alternant à leur partie supérieure avec de puissants épanchements de diabases et de diorites, qui les ont en partie transformés en schistes amphiboliques et en cornes vertes.

Diabases, diorites, porphyrites amphiboliques. Ces épanchements très anciens de roches basiques constituent un des attraits de l'étude géologique du Mâconnais et surtout du Beaujolais. C'est aux environs de Beaujeu que l'on saisit le plus facilement la relation d'âge de ces roches avec le granite qui leur est postérieur. Plusieurs lambeaux des mêmes formations apparaissent dans le Morvan, sur les feuilles d'Autun et de Château-Chinon. Les porphyrites amphiboliques de Cressy-sur-Somme, que nous avons placées avec

doute à la base du dévonien, doivent leur être réunies et sont ainsi rejetées au sommet du Cambrien. On trouve en effet dans le Beaujolais des porphyrites identiques associées çà et là aux grandes masses de diabases et diorites et aux cornes vertes. Comme structure, la série présente des diabases granitoïdes, ophitiques; des diorites dans lesquelles l'amphibole est généralement postérieure aux éléments feldspathiques (labrador, anorthite); des porphyrites amphiboliques avec variétés à microlites feldspathiques arborisés rappelant la structure des variolites. Le pyroxène des diabases a toujours une grande tendance à se transformer en ouralite.

Granite. Le granite est généralement à grands cristaux; il présente des caractères d'éruptivité franche, englobant des fragments aigus ou arrondis, souvent très volumineux, des formations antérieures. Les zones de contact du granite avec les schistes cambriens et les roches basiques précédentes constituent un des champs d'études curieux que l'on peut poursuivre aux environs de Saint-Léon (Allier), de Matur (Saône-et-Loire) et de Beaujeu (Rhône).

Granulite. Le Morvan est extraordinairement riche en granulite à mica blanc, parfois riche en tourmaline, en grenat, en émeraude. Elle se présente en grands massifs et en filons minces, et paraît douée, dans certaines circonstances, de la faculté d'injecter, feuillet par feuillet, le gneiss (*gneiss granulitique*) et les schistes cambriens.

C'est en partie la pegmatite, l'hyalomictite des auteurs français; on l'a souvent nommée *leptynite*, granite à grains fins;

les auteurs allemands l'ont appelée *muscovit-granit*, *aplite*, *lager-granit*, suivant ses gisements, et la science présente à ce point de vue la plus extrême confusion ; car la granulite a été, en général, confondue sur les cartes géologiques avec les terrains qu'elle traverse et comme égrenée à travers toutes les formations antérieures, dans lesquelles elle a été maintes fois présentée comme formant des veines de sécrétion contemporaine.

Dans le Morvan, la granulite paraît avoir été la formation éruptive dominante pendant une longue période géologique. Elle a certainement percé des couches dévoniennes aux environs de Diou près Bourbon-Lancy.

Nous avons réservé le nom de *granulite* à cette formation éruptive, suivant en cela la tradition de la plupart des auteurs français, et réservant aux roches grenues de la formation gneissique le nom de *leptynite*, imaginé par Haüy, et qui nous paraît plus heureusement approprié à cette destination que le nom de *granulite*, malheureusement appliqué aux mêmes roches par Weiss.

Dévonien. Il est représenté aux environs de Bourbon-Lancy (Diou, Gilly) par des lentilles de marbre fossilifère, par des schistes et des quartzites foncés qui se développent entre les schistes micacés et maclifères cambriens d'une part, et les poudingues carbonifères de l'autre.

Carbonifère. Le carbonifère inférieur marin comprend des poudingues, des schistes et des grès, et à sa partie supérieure des lentilles calcaires fossilifères, presque immédiatement surmontées par les tufs et les schistes du Culm.

Dans le Morvan, il paraît précédé par des éruptions de *granulites*, de *minettes* et de *kersantites*, riches en mica noir. Il est, dans toute la région, surmonté par une puissante formation de *tufs orthophyriques*, associés à de véritables roches éruptives, *porphyrites à pyroxène*, *orthophyres à mica noir*.

Comme les cinérites modernes, ces tufs contiennent çà et là des couches argileuses durcies, avec empreintes de plantes du Culm; ces couches fossilifères sont souvent précédées par des poudingues qui confirment que leur origine est due au remaniement par les eaux courantes des tufs précédents.

Micro-granulite. Cette formation, souvent méconnue avant l'emploi du microscope, est encore entièrement cristallisée et appartient par sa structure à la classe des roches granitoïdes. En France, la plupart des auteurs lui ont donné le nom de *porphyre quartzifère*. En Allemagne, elle est subdivisée en plusieurs séries : *granitit*, *granit* et *quartz-porphyr*, partie du *felsophyr*.

La micro-granulite, comprenant les plus nombreuses variétés de grain, de couleur et de structure (micro-pegmatite avec ou sans étoilements, micro-granulite simple, etc.), constitue d'innombrables filons et des massifs puissants dans le Morvan, dans le Beaujolais et dans le Forez.

Porphyre globulaire. Ce type de porphyre montre, autour des débris du quartz ancien, une matière sphérolithique radiale qui, entre les nicols croisés, présente les mêmes propriétés optiques que les débris de quartz central. C'est la plus ancienne roche acide présentant des indices d'un élément non cristallisé, d'un magma en partie amorphe. Aussi

pensons-nous qu'elle mérite le nom générique de *porphyre* que nous lui avons attribué ; elle sert de trait d'union entre les roches plus anciennes granitoïdes et les types plus récents trachytoïdes.

Au point de vue de son gisement, parfois elle constitue les bords des dykes de micro-granulite ; parfois aussi elle la coupe en filons minces. Le Morvan, les environs de la Palisse, en présentent d'aussi beaux et d'aussi nombreux exemples que la région du lac de Lugano. Elle constitue partie des granophyres et felsophyres des auteurs allemands.

Porphyre pétrosiliceux. Pour compléter la longue série des éruptions porphyriques de notre contrée, il nous reste à citer les vastes coulées d'un porphyre pétrosiliceux, postérieur à toutes les roches précédentes. Ici le mot *coulées* ne présente rien d'hypothétique ; souvent le porphyre a conservé une structure fluidale, donnant un indice net de la direction dans laquelle la roche s'est étirée.

Le porphyre pétrosiliceux du Morvan et du Beaujolais est, au moins en partie, antérieur au terrain houiller supérieur, dont il contient souvent des lambeaux et des bassins rétrécis (Sincey, Blisme, la Chapelle-sous-Dun, Saint-Just-d'Avray, Sainte-Paule). Une de ses variétés (la Selle) semble même contenir quelques lambeaux des parties supérieures du Culm.

Il s'est généralement épanché au milieu des grands massifs de micro-granulite. Les affinités pétrographiques le rattachent aux porphyres permieux ; comme eux, il contient quelques pyromérides (Lavaux près Chaumiens, la Chapelle-sous-Dun).

Terrain houiller supérieur. Par l'énumération qui précède, on voit la masse énorme de produits éruptifs qui se sont accumulés, à l'époque du Culm, au N. E. du plateau central. Une partie de ces éruptions paraît même postérieure au grand plissement N. E. auquel nous avons fait précédemment allusion.

Puis l'activité plutonienne se ralentit avec le dépôt des couches supérieures du terrain houiller.

Nous avons pu distinguer, dans ce terrain, deux subdivisions : l'inférieure correspondant aux couches d'Épinac, la supérieure, aux couches du Grand-Molloy.

Minettes et porphyrites amphiboliques. Il nous reste à mentionner les derniers produits éruptifs de la contrée. Ils se présentent en général sous la forme de filons minces, coupant les formations antérieures et notamment la micro-granulite et tendant à des types de plus en plus basiques.

On trouve d'abord des roches encore entièrement cristallines, à structure micro-granulitique, pauvres en quartz, riches en mica noir, en tout analogues à la fraidronite d'Émilien Dumas; au point de vue pétrographique, ces roches méritent le nom de *minettes*.

Puis la basicité s'accroît et l'on passe à de véritables porphyrites à microlithes de plagioclase et d'amphibole. Ces roches ont une grande importance géologique, car on en retrouve des représentants à Boën (Loire), à Thiers (Puy-de-Dôme), et dans le Cantal.

Porphyrites micacées, mélaphyres, mélaphyrites. Enfin le maximum de développement de cette venue récente se pro-

duit à la base du permien, immédiatement après le dépôt de la couche du Grand-Molloy. Le Morvan est criblé de filons minces de porphyrites micacées et de mélaphyres, et ces mêmes roches viennent former plusieurs dômes ainsi que des coulées fort curieuses sur les bords mêmes du bassin d'Autun.

La région vinicole du Beaujolais doit une partie de sa fertilité à l'abondance extraordinaire des mêmes filons.

Filons de quartz de l'âge des arkoses triasiques et liasiques. — Les phénomènes geysériens se sont prolongés, dans le Morvan et le Beaujolais, longtemps après la sortie des dernières roches éruptives de la contrée; ils ont rempli d'énormes filons de quartz concrétionné qui percent toutes les formations précédentes et dont les événements ont été surtout les failles permo-triasiques N. E. et N. O.

Plusieurs de ces filons sont ou ont été l'objet d'exploitations importantes; nous citerons les filons de manganèse de Romanèche et de Moulin-de-la-Roche (près Saint-Léon), les filons pyriteux et manganésifères de Champ-Robert, les filons de cuivre gris et de galène des Ardillats, etc.

Nous arrêtons ici la description sommaire des roches anciennes du Morvan et de ses attaches au plateau central. Plusieurs de ces roches ont été figurées, vues au microscope en plaque mince, dans la minéralogie micrographique.

Les explorations géologiques ont été faites de 1876 à 1883, pour les roches éruptives et les terrains primaires, par M. Michel-Lévy, ingénieur des mines; pour la bordure de terrains secondaires et tertiaires des feuilles d'Avallon et d'Autun, par M. Vélain, maître de conférences à la Faculté des sciences de Paris; pour celle des feuilles d'Autun, Cha-

lon-sur-Saône, Charolles, Mâcon et Bourg, par M. Delafond, ingénieur des mines.

Les bassins d'Autun et de Blanzey ont été spécialement explorés par M. Delafond, et les failles de bordure du massif ancien ont été tracées en collaboration par MM. Michel-Lévy et Vélain, Michel-Lévy et Delafond.

MASSIF DU CANTAL

AU $\frac{1}{400\,000}$.

Le massif volcanique du Cantal repose soit directement sur le gneiss et le micaschiste, soit sur des assises plus ou moins épaisses de terrain tertiaire stratifié. Dans sa partie Sud, il s'étend jusqu'aux confins de la Lozère et de l'Aveyron et y recouvre le granite et la granulite. A l'Ouest, il pénètre dans les départements du Lot et de la Creuse et s'y étale sur le gneiss et la granulite. Au Nord, il confine au massif du Cézalier, dont il supporte les principaux éléments. A l'Est, il est limité par la vallée de l'Allier et par les roches éruptives anciennes ou sédimentaires d'âges divers qui s'y observent. Enfin, au S. E., il se prolonge en contournant les montagnes de la Margeride, et se continue avec les formations volcaniques du bassin du Puy.

Le gneiss apparaît au milieu de son étendue à peu de distance de sa partie centrale : d'une part, à Thiézac dans la vallée de la Cère; d'autre part, à la Capelle-Barrez sur le revers méridional du Plomb, et à Neussargues dans la vallée de l'Alagnon.

Ce massif est découpé par des vallées profondes, creusées à leur origine par les forces volcaniques et agrandies ensuite par les érosions effectuées sous l'influence des eaux. Une crête irrégulièrement découpée s'étend de Plomb-du-Cantal au Puy-Mary et sert de ligne de partage aux eaux, qui d'un côté se rendent dans la Loire et de l'autre vont se perdre dans la Garonne.

Le massif cristallin qui supporte les roches volcaniques paraît avoir été, à une époque très ancienne, découpé sur

ses bords par des anfractuosités dans lesquelles se sont formés quelques bassins houillers. D'innombrables filons de granulite sillonnent le gneiss et le granite et donnent parfois à ces roches un cachet tout spécial par suite de l'action métamorphique qui a été la conséquence de leur sortie. Signalons aussi dans la région du Cantal quelques filons de micro-granulite et de porphyrite, et surtout la fréquence de l'amphibole dans les lits supérieurs de la formation gneissique. La direction générale des gneiss est E. O., celle des filons de granulite est N. N. E. Les gneiss et les micaschistes du Cantal sont en outre souvent traversés par des filons de quartz, de barytine avec galène, de stibine.

Le soubassement ancien qui a reçu les épanchements volcaniques était, pendant l'époque du miocène moyen, creusé de lacs dans lesquels se sont déposés des sables, des argiles et des calcaires fossilifères. Les éruptions n'ont commencé qu'après la formation de ces dépôts, assimilables à ceux du calcaire de la Beauce, au moins en ce qui regarde leurs assises supérieures qui seules renferment des fossiles. Les conglomérats et les grès sous-jacents aux couches calcaires doivent peut-être être rattachés à l'éocène.

Les principaux bassins tertiaires de la région sont ceux d'Aurillac et de Mur-de-Barrez dans la partie S. O. du massif du Cantal, celui du Malzieux au pied de la Margeride au sud de Saint-Flour. D'autres bassins moins importants se voient à Laveissière, à Dienne et en divers points de la vallée de l'Alagnon.

Les premiers épanchements volcaniques reposent immédiatement sur le calcaire miocène moyen; ils sont constitués par un basalte à grains fins peu abondant, intéressant par

ce fait que son âge géologique est déterminé dans d'étroites limites; en effet, cette roche est recouverte en quelques points par des petits dépôts d'un sable feldspathique dans lequel on a trouvé des ossements de mammifères appartenant au miocène supérieur. Les principaux de ces gisements sont ceux de Puy-Courny près d'Aurillac, de Joursac dans la vallée de l'Alagnon.

C'est après la production de ces dépôts qu'ont véritablement commencé les grandes éruptions de l'Auvergne; elles ont débuté par la formation d'un trachyte très riche en silice, ayant l'apparence d'une domite, roche que l'on découvre aujourd'hui au fond des ravins, où elle paraît occuper un espace assez étendu. L'oligoclase, l'orthose, le mica noir, la hornblende, le fer oxydulé, l'apatite et le sphène en sont les éléments principaux. Elle offre des variétés ponceuses et est accompagnée de tufs blancs abondants. La tridymite y est commune. Les éruptions consécutives ont amené au jour des andésites à hornblende en général bien cristallisées. A l'œil nu, on aperçoit dans ces roches en cristaux distincts un feldspath triclinique, de la hornblende et parfois un peu de mica noir. Le microscope permet d'y apercevoir en outre, à l'état de produits du premier temps de consolidation, du fer oxydulé, de l'apatite, de l'augite et accessoirement du sphène. Il y fait découvrir aussi des microlithes d'oligoclase et de fer oxydulé. La sortie de la roche s'est faite lentement et à une température telle qu'elle ne possédait qu'une très médiocre fluidité: aussi n'a-t-elle formé que peu de bancs compactes; elle s'est étendue en coulées épaisses composées de blocs scoriacés n'offrant aucune apparence de stratification: en un mot, elle a formé de puissantes brèches volca-

niques. La vallée de la Cère et celle de Fontanges sont en partie creusées dans ces dépôts.

La brèche andésitique en question est recouverte immédiatement par des produits plus basiques dont les caractères pétrographiques sont variables: tantôt ce sont des andésites angitiques, tantôt des labradorites; plus souvent, ils affectent la composition minéralogique et la structure du basalte. Dans ce dernier cas, la roche offre en général une cristallinité des plus marquées; elle semble à l'œil nu composée exclusivement de cristaux d'augite et d'olivine dont le diamètre moyen est de 5 à 6 millimètres, mais au microscope on voit que ces grands cristaux sont enveloppés de microlithes de labrador, d'augite et de fer oxydulé semblables à ceux des basaltes à grains fins. La roche, malgré son apparence à l'œil nu, n'est donc pas granitoïde. On l'observe en coulées et en filons ou dykes divisés souvent en prismes perpendiculaires aux surfaces de refroidissement. Son gisement le plus remarquable se voit à Thiézac dans la vallée de la Cère, mais on la rencontre jusqu'au pied du Grioux, près du centre même du massif du Cantal. A cause de sa structure et du développement extraordinaire des grands cristaux qui la composent, on lui a donné le nom de *basalte porphyroïde*.

L'éruption de ce basalte clôt, pour ainsi dire, la première période d'activité du volcan, car une longue période de repos la sépare nettement de celle qui suit.

Pendant cette époque de tranquillité, une abondante végétation s'est produite en Auvergne. Des troncs d'arbre ayant jusqu'à 2 mètres de diamètre, actuellement silicifiés, croissaient alors à la surface des produits volcaniques anté-

rieurement épanchés. La flore de cette époque appartient au pliocène inférieur; la plupart des plantes qui en font partie se rapportent aux dicotylédonées angiospermes (*Carpinus pyramidalis*, *Planera ungeri*, *Phæbe barbusana*, *Fagus attenuata*, etc.). Les principaux gisements de ces plantes fossiles se voient à Vic-sur-Cère, Saint-Vincent, Joursac, la Bastide, Mandailles. Tantôt comme au Falgoux et à la Bastide, les arbres sont debout et encore en place; tantôt au contraire, comme dans les autres localités citées, le gisement renferme des débris de feuilles, ou même des fruits, entraînés par les eaux et accumulés dans les bas-fonds.

La conservation de ces végétaux eux-mêmes ou de leurs empreintes est due à ce qu'ils ont été enveloppés et ensevelis dans une épaisse couche de cendre et de tuf volcanique. Effectivement, la seconde période volcanique du Cantal débute par des projections d'une très grande intensité, dont les produits ont recouvert toute la contrée jusqu'à une grande distance du cratère central qui leur donnait issue. Ces projections ont été bientôt suivies par une sortie nouvelle de brèche andésitique offrant les mêmes caractères que la précédente; puis sur la brèche s'étendent en dernier lieu des coulées compactes de la même roche, comme si les éruptions s'étaient faites dans ce cas à une température de plus en plus élevée, de manière à donner lieu à la fin à des épanchements doués d'une fluidité plus grande.

Cette seconde poussée andésitique a été plus intense encore que celle de la première période. D'innombrables filons visibles dans toutes les vallées du massif lui ont permis de se manifester. Ces filons se montrent particulièrement en très grand nombre près du Lioran à l'origine des vallées

de la Cère et de l'Alagnon; ils coupent et sillonnent les dépôts volcaniques plus anciens. Plusieurs des sommités les plus élevées du Cantal sont formées par ces roches, qui jouent certainement un rôle prépondérant dans la constitution géologique du massif.

A leur tour, les andésites sont traversées par des dykes volumineux et des filons de phonolithe. Cette roche renferme, à l'état de grands cristaux, de l'orthose, du mica noir, de la hornblende, de l'augite, du sphène, de l'apatite, du fer oxydulé, de la noséane, et, en microlithes, de l'orthose, de l'augite, du mica noir et de la néphéline. Tous ces éléments ne sont pas également importants, ni également caractéristiques. L'orthose est toujours le minéral dominant; l'augite en microlithes ne fait jamais défaut, mais la noséane, le sphène et la néphéline sont les éléments qui donnent surtout à la roche un cachet minéralogique spécial. La néphéline se montre en proportions très inégales: tantôt elle abonde, comme dans le dyke de la Font (près Thiézac); tantôt, comme dans la plupart des autres gisements, le microscope permet à peine de l'apercevoir. Le phonolithe constitue les pays du Grioux, du Griounaux, de l'Uslade, de Roche-Taillade.

L'un de ces dykes, le dernier cité, est traversé par des filons de basalte, dont l'âge relatif se trouve ainsi établi. Ce basalte à grains fins est extrêmement répandu en Auvergne; il couvre tous les hauts plateaux et se trouve entaillé par les vallées. Sur le revers méridional de Plomb-du-Cantal, dont il constitue la cime, il s'étend sur une vaste surface peu accidentée à laquelle on a donné le nom de *Plannèze*. Sa constitution minéralogique et sa structure ne le

distinguent en rien du basalte miocène précédemment décrit. Il a formé de longues coulées largement étalées. Fréquemment, on l'observe en filons au milieu des andésites. Enfin sa sortie a été accompagnée d'abondantes projections scoriacées semblables à celles des volcans modernes. Il a été rejeté par des bouches nombreuses dont plusieurs s'ouvraient à une grande distance du centre du massif. La position de ces orifices se reconnaît encore aisément à leur forme conique et à l'entassement de scories et de lapilli qui s'y rencontre. Quelques-uns même ont assez bien conservé leur forme primitive, pour qu'on y puisse reconnaître les caractères normaux d'un cratère. Le suc de Védrine, sur l'un des bords de la vallée de l'Alagnon, est un des types les plus francs de cette remarquable conformation.

Le creusement des vallées a commencé après la formation de ce basalte. De grandes masses d'eau provenant probablement de la fusion des glaciers ont transporté alors à de grandes distances des blocs volumineux détachés des hauteurs, et charrié plus loin encore les ponces, les scories et les autres produits légers ou facilement désagrégeables résultant de la destruction de l'andésite ou du basalte. Au milieu de ces débris on a trouvé en plusieurs points des ossements de mammifères qui ont permis de déterminer l'âge de ces dépôts et de les rapporter au pliocène supérieur. Les éruptions de l'andésite, du phonolithe et du basalte des plateaux ont donc eu lieu dans l'intervalle compris entre le pliocène inférieur et la fin du pliocène supérieur.

Pendant cette dernière période, le creusement des vallées continue et se prolonge jusqu'au commencement de la période quaternaire. Les éruptions de basalte ne cessent pas

de se produire; les coulées descendent d'abord dans les vallées en voie de formation et sont bientôt entaillées par les érosions. Enfin, le creusement des vallées s'achève et les derniers épanchements basaltiques de la région cantalienne se déversent à la surface d'alluvions anciennes au fond de ravins dans lesquels circulent les eaux actuelles. Ces derniers phénomènes ne se voient qu'à la limite extrême du massif du Cantal. On les observe surtout dans la vallée de l'Allier aux environs de Langeac.

En résumé, après la sortie éphémère du basalte miocène, les éruptions volcaniques se sont manifestées dans le Cantal pendant deux périodes distinctes, séparées par un intervalle de calme. Durant la première a eu lieu la sortie du trachyte domitique, de la brèche andésitique inférieure et du basalte porphyroïde. La seconde a été témoin de l'émission de la cinérite, de la brèche andésitique supérieure, de l'andésite en bancs compactes, du phonolithe et du basalte. La première s'étend du miocène supérieur jusque vers la fin du pliocène inférieur. La seconde commence probablement au pliocène moyen, a son maximum pendant le pliocène supérieur et se termine au commencement du quaternaire. Au point de vue minéralogique, les deux séries de roches sont parallèles.

MASSIF DU CÉZALIER.

Ce massif important occupe tout l'espace compris entre le massif du Mont-Dore et celui du Cantal, et se relie intimement à l'un et à l'autre.

Il repose sur un soubassement de gneiss, sillonné de nom-

breux filons de granulite et affectant en plusieurs points les caractères du gneiss amphibolique.

Sur le bord oriental de son contour il offre des anfractuosités dans lesquelles on observe plusieurs petits lambeaux tertiaires, dont le plus important se continue avec le bassin de la Limagne. L'âge et les caractères de ces dépôts sont les mêmes que ceux des bassins du Cantal.

Les roches éruptives sont aussi les mêmes, mais la série volcanique ancienne est moins complète. Le basalte miocène fait défaut. L'andésite domitique et la brèche andésitique inférieure ne sont représentées que par quelques couches minces visibles auprès d'Anzat. La cinérite est représentée par un petit dépôt peu étendu qui se voit : d'un côté, à Boutarresse; et, de l'autre, près de la Godivelle. L'andésite supérieure et le phonolithe manquent. En revanche, le basalte des plateaux, celui des pentes et celui du fond des vallées sont remarquablement développés. Des cratères admirablement conservés s'y voient à Montcineyre et à la Godivelle. L'un des sommets les plus élevés du massif est composé de scories intactes et fraîches. Enfin les derniers épanchements ont donné lieu à des cheires qui sont descendues dans les ravins, alors que les vallées avaient définitivement pris leur forme actuelle.

Les explorations géologiques ont été faites de 1876 à 1883 par M. F. Fouqué, membre de l'Institut, professeur au Collège de France.

BASSIN TERTIAIRE SOUS-PYRÉNÉEN.

Les quatre feuilles exposées sous ce titre comprennent : n° 180, Bordeaux; n° 191, la Teste de Buch; n° 217, Lectoure; n° 229, Auch. Elles contiennent tout ce que le service géologique a publié jusqu'ici dans le grand bassin tertiaire étendu sur le revers septentrional des Pyrénées. Toutefois la constitution géologique de ce bassin, au moins dans sa partie occidentale entre Toulouse et le golfe de Gascogne, est aujourd'hui bien connue, tant par suite de l'exécution des cartes départementales de la Gironde, des Landes et du Gers que par les études complémentaires dont il a été l'objet de la part du service de la Carte de la France.

En s'en tenant aux traits généraux cette constitution peut être résumée de la manière suivante :

1° Les assises crétacées et éocènes forment, dans la région, une série d'ondulations manifestement parallèles à l'axe de la chaîne des Pyrénées, en présentant, d'une manière uniforme, un versant peu incliné en regard de cette dernière, et un revers abrupt, au contraire, dans la direction opposée.

Dans la partie de la plaine sous-pyrénéenne comprise entre l'Adour et la Garonne, on ne compte pas moins de quatre grandes rides semblables. Ce sont, en partant du Sud :

- a.* La grande Roque de Tercis au sud-ouest de Dax;
- b.* Le pointement crétacé qui s'étend au sud de Saint-Sever, entre Hauriet et Fargues, et qui se rattache dans la direction du S. E., par les gisements de Gensac et de Mou-

l'éon, aux massifs d'Aurignac et d'Ausseing, vulgairement connus sous le nom de *petites Pyrénées*;

c. La protubérance qui commence à se montrer à Roquefort sur la route de Bordeaux à Mont-de-Marsan et se dirige vers la métairie de Bordères (commune de Lavarrens [Gers]) en passant par les gîtes de la Pouchette, Gattidès, le Gentilhomme, la Hiouère, Broustet, Tiquet et Tustoc, disposés aux abords de la route de Saint-Justin à Gabarret;

d. Enfin le pointement de Villagrains qui occupe la partie haute du vallon de Gua-Mort et dont le second jalon se trouve à Landiras sur la feuille de la Réole.

Les deux rides *b* et *d* sont seules et partiellement représentées sur les feuilles exposées : la première, par l'affleurement crétacé et éocène de la métairie de Bordères; la seconde, par le pointement de Villagrains.

2° Le terrain tertiaire miocène s'est déposé dans les compartiments étagés formés par cette série d'ondulations. Il s'y présente avec un grand développement et des caractères divers, suivant la région que l'on envisage. Ainsi les assises lacustres dominent de beaucoup dans le Nord et vers l'Est, tandis que les couches marines sont au contraire prépondérantes du côté de l'Ouest.

3° Ces dernières s'interposent en général sous forme de coins au milieu des premières. Elles affectent en plan la forme d'un triangle, dont un des côtés s'appuie sur le littoral et dont le sommet est situé dans l'intérieur des terres, à une distance d'autant plus considérable qu'elles sont plus récentes.

4° La molasse à *Ostrea crassissima* et à *Cardita Jouanneti* constitue le dépôt marin le plus élevé dans la série miocène. Il est manifestement postérieur à celui du grand massif lacustre qui recouvre l'Agenais et le haut Armagnac. La mer dans laquelle se sont formées les couches de la molasse a profondément entamé et raviné les assises d'eau douce, lesquelles constituent des falaises très accusées dans le relief du sol pour tout observateur se dirigeant de l'Ouest vers l'Est. La dénudation a toutefois respecté quelques îlots de terrains lacustres qui pointent au milieu des sables marins.

Après le soulèvement des Pyrénées qui a suivi la formation du terrain éocène, le démantèlement partiel des assises lacustres par la mer à *Ostrea crassissima* est le fait le plus considérable observé dans la structure du bassin tertiaire du Sud-Ouest. Il correspond à une division bien nette dans les couches tertiaires moyennes.

5° Le sable quartzeux des Landes est l'assise tertiaire la plus élevée de la région du Sud-Ouest. Il affecte à l'égard des terrains miocènes une véritable indépendance, car on le trouve indifféremment superposé aux diverses assises de ce terrain. Pour cette raison on l'a rapporté à l'étage pliocène. Dans la direction de l'Est, le sable des Landes passe aux dépôts de graviers et d'argiles à poteries de la Lomagne. Il renferme quelques gîtes argileux peu suivis, des grès quartzeux à pavés et des minerais de fer hydroxydés, épigéniques. On trouve également, d'une manière assez constante, à une petite profondeur au-dessous de la surface, un grès friable de couleur noire brunâtre qui n'est autre chose qu'un agrégat de grains de quartz par un ciment de nature organique.

provenant de l'exsudation de la végétation arborescente. C'est la roche connue dans les Landes de Gascogne sous le nom d'*alios*.

Les assises tertiaires représentées sur les quatre feuilles exposées sont, dans l'ordre descendant :

- p^1 Sables des Landes et graviers de la Lomagne;
- m^3 Molasse marine, falun de Salles;
- m^2 Marnes et calcaires supérieurs de l'Armagnac, faune de Simorre, falun de Léognan;
- m^1 Marnes et calcaires inférieurs de l'Armagnac, faune de Sansan, falun de Léognan;
- $m_{,a}$ Calcaire gris et molasse de l'Agenais, faluns de Bazas;
- $m_{,b}$ calcaire blanc à *Helix Ramondi* et molasse inférieure de l'Agenais;
- $m_{,c}$ Calcaire à astéries de Bourg;
- $m_{,m^a}$ Calcaire d'eau douce de Castillon;
- $m_{,s}$ Molasse du Fronsadais;
- e^{3a} Calcaire de Saint-Estèphe;
- e^2 Calcaire d'eau douce de Plassac à *Lymnea longiscata*;
- e^1 Argile à *Ostrea cucullaris* et molasse à *Anomies*;
- e_1 Calcaire grossier de Blaye.

Il convient également de signaler dans le bassin tertiaire les sables et argiles éruptifs des environs de Blaye et de Bourg.

Les relevés géologiques sur les quatre feuilles exposées ont été exécutés : pour Lectoure et Auch, par M. Jacquot, inspecteur général des mines, directeur du service de la Carte, avec le concours de MM. Paul et Jean Doumerc; et,

pour les feuilles de Bordeaux et de la Teste, par M. Linder, ingénieur en chef des mines au Mans.

On a utilisé, pour les relevés, la carte géologique de la Gironde par M. Pigeon, la carte géologique et agronomique des Landes par MM. Jacquot et Raulin, enfin celle du Gers par M. Jacquot.

TOPOGRAPHIES SOUTERRAINES.

Les topographies souterraines des bassins houillers ne sont autre chose qu'une étude détaillée des gîtes de cette nature avec une représentation graphique spéciale. L'intérêt qu'elles présentent est incontestable, soit qu'elles aient pour objet d'évaluer aussi exactement que possible les ressources présumées renfermées dans chaque mine, soit qu'elles se proposent de résoudre les questions qui se rattachent à l'extension du bassin sous les morts-terrains ou à la conduite des travaux d'exploitation.

L'Administration des travaux publics a constamment reconnu l'utilité de pareilles études, qui constituent la mission principale du corps national des Mines et la raison d'être de son institution. En 1845, après avoir pris l'avis du Conseil général, elle a tracé un programme pour la confection des topographies souterraines. L'exécution en a été généralement confiée aux ingénieurs des arrondissements minéralogiques dans lesquels les terrains à explorer se trouvaient compris.

Les topographies souterraines ont donné lieu à un certain nombre de publications faites sous les auspices de l'Administration des mines. Ce sont, par ordre de dates :

1^o Étude des gîtes houillers et métallifères du Bocage vendéen, faite en 1834 et 1835, par Henri Fournel (1836);

2^o Étude du bassin houiller de Graissessac, par Garella; (1843);

3^o Mémoire sur les bassins houillers de Saône-et-Loire, par Manès (1844);

4° Description historique, géologique et topographique du bassin houiller de Brassac (Puy-de-Dôme et Haute-Loire), par Baudin (1849);

5° Description du bassin houiller de Decize (Nièvre), par Boulanger;

6° Notice sur les gîtes de houille et les terrains des environs de Forges et de la Chapelle-sous-Dun et sur les gîtes de manganèse et les terrains des environs de Romanèche, par Dronot (1857);

7° Topographie souterraine du bassin houiller de Valenciennes, par M. Dormoy (1867);

8° Étude des bassins houillers de la Creuse, par M. Gruner (1868).

En dehors de quelques missions spéciales, les topographies souterraines ont été en général rattachées aux services ordinaires des mines dont elles formaient une dépendance. Mais en 1877 l'attention de l'Administration des travaux publics a été appelée sur les défauts inhérents à cette organisation: on a recherché les résultats qu'elle avait produits et l'on reconnu que, par suite des changements fréquents de résidence des ingénieurs, ils étaient à peu près insignifiants.

Pour remédier à la situation et pour donner en même temps aux études topographiques l'unité de direction et l'esprit de suite indispensables à la conduite de tout travail scientifique, l'Administration des travaux publics a jugé à propos de confier ce service à l'inspecteur général directeur de la Carte géologique de la France. Les deux services manifestement connexes ont ainsi été centralisés dans les mêmes mains. La décision ministérielle relative à la nouvelle organisation du service est du 23 mai 1877.

Dans les cinq dernières années, le service des topographies souterraines réorganisé a fait deux grandes publications. La première date de 1881; elle comprend la description des deux bassins de Brassac et de Laugeac, par MM. Dorlhac et Amiot; un volume de texte grand in-quarto et un atlas de 19 planches. La seconde est l'étude détaillée du bassin houiller de la Loire, dont M. l'inspecteur général Gruner a pris l'initiative il y a une trentaine d'années et qui était restée jusqu'ici en portefeuille faute de crédits suffisants pour sa publication. L'ouvrage comprend deux volumes de texte in-quarto et un grand atlas de 30 planches.

Les topographies souterraines des bassins du Nord et du Pas-de-Calais, d'Épinac et de Ronchamp sont actuellement en cours d'exécution. Le service compte publier celle d'Épinac dans le cours de l'année.

Les publications du service figurent à l'Exposition de Madrid. On a jugé à propos d'y joindre l'étude des bassins de la Creuse par M. Gruner, qui est antérieure à sa réorganisation. Enfin il a paru opportun de faire de la petite carte géologique d'ensemble du bassin de la Loire, par le même auteur, l'objet d'une exposition murale à raison de l'intérêt qu'elle présente.

CARTE GÉOLOGIQUE PROVISOIRE DE L'ALGÉRIE.

Cette carte, à l'échelle de $\frac{1}{500\ 000}$, a été dressée par MM. Tissot et Pouyanne, ingénieurs en chef des Mines, et par M. Pornel. Elle est accompagnée d'un texte explicatif en deux volumes. Ce travail n'est considéré encore que comme provisoire par ses auteurs; il ne leur a pas été possible, en effet, de vérifier sur le terrain tous les tracés qu'ils ont fait figurer sur leur carte; ils ont dû se contenter, pour les régions qu'ils n'ont pas explorées, de documents et travaux antérieurs de diverses provenances.

TABLE DES MATIÈRES.

DIRECTION DES ROUTES, DE LA NAVIGATION ET DES MINES.	
	Pages.
Service de la statistique de l'industrie minérale.	1
I. Statistique de l'industrie minérale et des appareils à vapeur en France et en Algérie pour l'année 1881	1
II. Carte figurant les bassins houillers de la France, leur pro- duction par groupes géographiques, ainsi que l'importa- tion et l'exportation des combustibles minéraux, par bu- reaux de douane, en 1881	3
III. Carte de la distribution par département des combustibles extraits des principaux bassins de la France en 1880	6
IV. Carte numérique de la consommation des houilles en France, par département, en 1879	8
V. Carte des usines sidérurgiques françaises et de leur consis- tance en 1880	10
VI. Carte géographique et statistique de la production minérale de la France en 1876	11
VII. Carte statistique de la production minérale de l'Algérie en 1879	16
VIII. Carte statistique de la distribution des appareils à vapeur en France pour l'année 1881	18
IX. Statistique détaillée des sources minérales exploitées ou au- torisées au 1 ^{er} juillet 1882	21
ÉCOLE NATIONALE DES MINES.	
École nationale des mines	27
Institution et but de l'école	27
Cours préparatoires	28
Cours de l'École nationale des mines	30

	Pages.
Ordre intérieur	32
Examens	32
Bureau d'essais pour les substances minérales	33
Nomenclature des documents présentés par l'École nationale des mines	34
Commission d'étude des moyens propres à prévenir les explosions de grisou	35
 ÉTUDES SYNTHÉTIQUES DE GÉOLOGIE EXPÉRIMENTALE. 	
Études synthétiques de géologie expérimentale	36
Principaux faits acquis par l'observation relativement aux failles et aux joints	37
Cassures produites sur une croûte mince par un mouvement ondulatoire	42
Cassures obtenues par torsion	43
Cassures obtenues par une simple pression	48
Cassures consécutives des ploiements	52
Formes et dispositions des failles	54
Formes et dispositions des joints	54
Fréquence probable des effets de torsion dans la nature	58
Convenance de dénominations spéciales pour les divers ordres de cassures	61
Application de la méthode expérimentale à l'étude des caractères de divers ordres que présente le relief du sol	64
Influence bien connue des paraclases sur le relief du sol	65
Lumière jetée par l'expérimentation sur la cause de ces divers traits topographiques	68
Résumé	72
 QUESTIONS DE GÉOLOGIE SYNTHÉTIQUE. 	
A. Unification des travaux géographiques et géologiques	74
B. Géométrie du réseau pentagonal et sphérodésie graphique	81
C. Étude des alignements géologiques et application du réseau pentagonal	82
D. Imitation des accidents orographiques de soulèvement	89
E. Classifications géologiques	96

TABLE DES MATIÈRES.

137

CARTE GÉOLOGIQUE DÉTAILLÉE DE LA FRANCE.

	Pages.
Généralités.....	99
Carte du Morvan.....	104
Massif du Cantal.....	118
Massif du Cézalier.....	135
Bassin tertiaire sous-pyrénéen.....	127
Topographies souterraines.....	130

CARTE GÉOLOGIQUE DE L'ALGÉRIE.

Carte géologique provisoire de l'Algérie.....	133
---	-----

