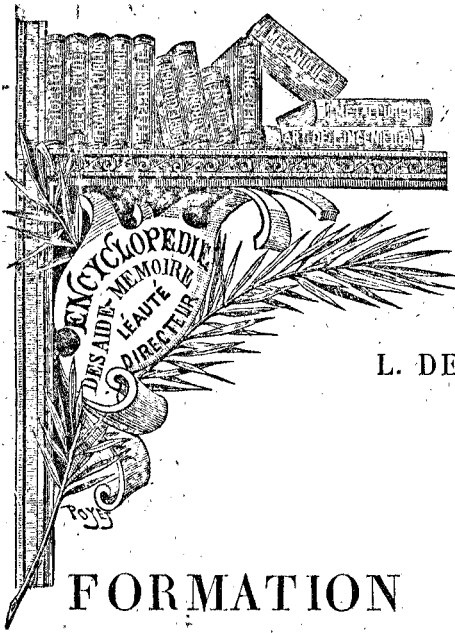


Section de l'Ingénieur



L. DE LAUNAY

FORMATION

DES

GÎTES MÉTALLIFÈRES

OU

MÉTALLOGÉNIE

DEUXIÈME ÉDITION

GAUTHIER-VILLARS
MASSON ET C^{ie}

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

COLLABORATEURS

Section de l'Ingénieur

MM.	MM.	MM.
Alheilig.	Godard.	Minel (P.).
Alquier.	Gossot (Col.).	Minet (Ad.).
Ariès (Col.).	Gouilly.	Miron.
Armengaud jeune.	Gouré de Villemontée.	Moëssard (C').
Astruc (J.).	Grouvelle (Jules).	Moissan.
Barillot.	Guenez.	Mounier.
Basot (G ^l).	Guichard (P.).	Moreau (Aug.).
Baume-Pluvinel (de la).	Guillaume (Ch.-Ed.).	Morel (A.).
Berard (A.).	Guillet (L.).	Muller (Ph. T.).
Berthelot (M.).	Guye (C.-Eug.).	Niewenglowski (G. H.).
Bertin.	Guye (Ph.-A.).	Naudin (Lauront).
Billy (Ed. de).	Guyon (Comm ^t).	Ocagne (d').
Bloch (Fr.).	Haller (A.).	Otto (M.).
Blondel.	Halphen (G.).	Ouvrard.
Boire (Em.).	Hatt.	Paloque.
Bordet.	Hébert.	Périsse (L.).
Bornecque.	Hennebert (Col.).	Perrin.
Bourlet.	Henriet.	Perrotin.
Boussac (A.).	Hérisson.	Persoz (J.).
Boursault (H.).	Hospitalier (E.).	Picou (R.-V.).
Brunswick (E.).	Hubert (H.).	Pittet (H.).
Candlot.	Hubou (E.).	Poulet (J.).
Caspari.	Hutin.	Pozzi-Escot.
Charpy (G.).	Jacométy.	Prud'homme.
Clerc (L.-P.).	Jacquet (Louis).	Rabaté (E.).
Clugnet.	Jaubert.	Rateau.
Croneau.	Jean (Ferdinand).	Resat (J.).
Damour.	Labbé (H.).	Rigaud.
Dariès.	Launay (de).	Rocques (X.).
Defays (J.).	Laurent (H.).	Rocques-Desvallées.
Defforges (Col.).	Laurent (P.).	Rouché.
Delafond.	Laurent (Th.).	Sarrau.
Dibos (M.).	Lavergne (Gérard).	Sartiaux (E.).
Drzewiecki.	Léauté (H.).	Sanvage.
Dudebout.	Le Chatelier (H.).	Sequela.
Dufour (A.).	Lecomte.	Sidersky.
Dumont (G.).	Lecornu.	Stryg (T.).
Duquesnay.	Lefèvre (J.).	Suart.
Durin.	Leloutre.	S. rigaglia.
Dwelschauvers-Dery.	Lenicque.	Sirel (E.).
Equinville (R. d').	Letheule (P.).	Thomas (V.).
Fabre (Ch.).	Le Verrier.	Tissier (Louis).
Fabry.	Lindet (L.).	Trillat.
Fourment.	Lippmann (G.).	Urbain.
Fribourg (Col.).	Loppé.	Valler (Comm ^t).
Frouin.	Lumière (A.).	Vautberghé.
Gages (Cap.).	Lumière (L.).	Vermand.
Garnier.	Madamet (A.).	Viaris (de).
Gassaud.	Magner de la Source.	Vignerot (Eug.).
Gastine.	Marchena (de).	Vivet (L.).
Gautier (Henri).	Meyer (Ernest).	Wallon (E.).
Gay (A.).	Michel-Lévy.	Widmann.
		Witz (Aimé).

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE

SOUS LA DIRECTION DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

L. DE LAUNAY — Formation des Gîtes métallifères I

*Ce volume est une publication de l'Encyclopédie
scientifique des Aide-Mémoire; L. ISLER, Secrétaire
général, 20, boulevard de Courcelles, Paris.*

N° 37 B₂

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

FORMATION
DES
GÎTES MÉTALLIFÈRES
OU
MÉTALLOGÉNIE

PAR

L. DE LAUNAY

Ingénieur en Chef des Mines
Professeur à l'École supérieure des Mines

DEUXIÈME ÉDITION

entièrement refondue

(1905)

PARIS

GAUTHIER-VILARS	MASSON et C ^{ie} , ÉDITEURS,
IMPRIMEUR-ÉDITEUR	LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
Quai des Grands-Angustins, 55	Boulevard Saint-Germain, 120
(Tous droits réservés)	

*OUVRAGES DE L'AUTEUR PARUS
DANS LA COLLECTION DE L'ENCYCLOPÉDIE*

- I. Formation des gites métallifères (2^e édition).**
- II. Statistique de la production des gites métallifères.**

CHAPITRE PREMIER

DÉFINITION ET CLASSIFICATION DES GÎTES MÉTALLIFÈRES

1. L'écorce terrestre est formée toute entière par les produits de la combinaison des métaux et des métalloïdes entre eux ; il n'est donc pas une substance de cette écorce dont la chimie ne puisse extraire un ou plusieurs métaux, un ou plusieurs métalloïdes et que l'on ne soit en droit, par suite, de considérer d'une façon théorique comme constituant un gîte métallifère ou minéral. C'est ainsi que la plupart des roches

(1) La première édition de cet ouvrage remonte à 1892. Celle-ci, tout en conservant le cadre ancien, en diffère presque partout et j'ai essayé d'y faire une place sommaire à des idées nouvelles ; mais les dimensions forcément limitées du livre me conduiront à affirmer souvent sans pouvoir tenter de prouver. Je demande donc la permission de renvoyer à mes autres ouvrages, notamment : *Traité des gîtes métallifères* (2 vol., Baudry, 1892) ; *Contribution à l'étude des gîtes métallifères* (Dunod, 1897) ; *La Science géologique* (Armand Colin, 1905).

seraient, à la rigueur, des gisements de fer, aluminium, magnésium, potassium, sodium, calcium, silicium, etc. Industriellement et pratiquement, on réserve le nom de *gîtes métallifères* aux dépôts naturels d'où l'on peut retirer un ou plusieurs métaux avec profit, c'est-à-dire aux points où il s'est produit une *concentration anormale des substances minérales utiles* et l'on désigne, sous le nom de *minerais*, les minéraux ou mélanges de minéraux sur lesquels porte cette exploitation.

Il résulte immédiatement de cette définition que la proportion dans laquelle un minéral devra contenir un métal pour devenir un minerai sera essentiellement variable suivant la valeur de ce métal et qu'un gîte, suivant les époques et les progrès de la métallurgie, suivant les circonstances locales, suivant le prix changeant des métaux contenus, pourra, non seulement cesser d'être exploitable, mais même d'être regardé, dans la pratique, comme vraiment métallifère. Une roche ou une alluvion renfermant 5 grammes d'or à la tonne sera un minerai ; à 100 kilogrammes de fer, elle n'en serait pas un. Il y a cinquante ans, nul n'aurait songé à regarder comme des minerais la bauxite, le wolfram, la monazite, aujourd'hui utilisés pour la fabrication du sulfate d'alumine, des aciers au tungstène, des terres à incandescence ;

c'est à peine si le carbonate de fer ou la blende semblaient exploitables. Aux États-Unis, l'époque n'est pas bien lointaine où l'on ne s'occupait que de l'or, laissant de côté les gîtes d'argent et, dans toute l'Amérique, un gîte de plomb qui ne contient pas d'argent est encore aujourd'hui à peu près dédaigné.

Un gîte métallifère ne comprend pas seulement des minerais ; il renferme en même temps des substances inutiles, parfois nuisibles, nommées *gangues*, qu'on cherche le plus possible à éliminer, par l'exploitation d'abord, puis par le triage et la préparation mécanique, enfin par la métallurgie.

Ces gangues peuvent être très diverses : dans une alluvion aurifère, ce sera l'ensemble des roches qui forment les sables et galets d'où l'on retire l'or ; dans un schiste cuprifère, ce sera le schiste lui-même ; ou la serpentine dans une serpentine à grains de fer chromé ; dans un filon, ce seront un certain nombre de minéraux, presque toujours les mêmes : quartz, calcite, sidérose, fluorine, barytine, etc., dont le quartz est de beaucoup le plus abondant.

Par suite des idées théoriques qui vont être développées dans tout le cours de ce livre, nous diviserons les gîtes métallifères en *gîtes primitifs* (ayant été constitués dès l'origine sous la forme où nous les trouvons) et *gîtes secondaires*

(remaniés, déplacés ou altérés). Les gîtes primitifs comprendront à leur tour deux catégories principales :

1° Les *Gîtes d'inclusion et de ségrégation ignée dans des roches éruptives* sont constitués par des grains, des mouches, des lentilles ou des amas plus ou moins volumineux de minerai dans une roche cristalline; ils proviennent directement de cette roche même, ayant cristallisé avec elle dans des conditions analogues à celles de ses autres éléments et ont subi seulement parfois une concentration due à un phénomène de *différenciation* analogue à la liquation d'un alliage, qui caractérise les ségrégations ignées. Ces gîtes n'ont guère d'importance pratique que pour quelques métaux concentrés dans les roches basiques, fer, nickel, chrome, etc. ; mais leur intérêt théorique est considérable. Ils passent aux gîtes de la seconde catégorie ou filons, par des gisements de *contact* ou de *départ immédiat*, souvent déjà filoniens, dont le cuivre est le cas le plus caractéristique en milieu basique et l'étain en milieu acide.

2° Les *Gîtes de dépôt hydrothermal*, dont les *filons* sont le type le plus ordinaire, remplissent des cassures ou des vides de toutes formes au milieu de roches ou de terrains, dont ils sont, jusqu'à un certain point, indépendants; leur âge est nettement postérieur à celui de ces roches ou

terrains voisins, qui constituent ce qu'on appelle leurs *épointes* et dans lesquels ils ont pu pénétrer par imprégnation ou substitution.

Parmi les gîtes de dépôt hydrothermal, nous grouperons :

Les *filons*, ou remplissages de fractures quelconques, ordinairement compris entre deux surfaces ondulées qui se rapprochent de deux plans verticaux parallèles (1) ;

Les *stockwerks*, produits par l'enlacement d'un réseau de fissures concentrées sur un même point ;

Les *champs de fractures*, formés d'un nombre plus ou moins grand de filons ;

Les *amas filoniens*, de forme lenticulaire, quoique groupés souvent, en inclinaison comme en direction, suivant une fracture unique ou quelques fractures parallèles ;

Les *gîtes d'imprégnation*, où le minerai, arrivé par une voie quelconque, incruste les vides d'un terrain généralement gréseux ;

Enfin, à titre très accessoire, les *gîtes de substitution originelle*, où le minerai a remplacé

(1) L'*inclinaison* d'un filon est sa ligne de plus grande pente ; la *direction*, son horizontale.

Comme cas particulier des filons, lorsque la fracture a suivi la stratification du terrain, on a un *filon couche* ; quand elle est au contact de deux terrains différents, un *filon de contact*.

chimiquement les éléments des éponges, qui ont été d'abord dissous.

Parmi les gîtes secondaires, on peut distinguer, en outre, les gîtes d'altération ou de remise en mouvement et les gîtes sédimentaires.

3° Les *Gîtes d'altération* ou de remise en mouvement ont pu être produits, à peu près sur place, par l'altération chimique d'un gîte primitif, appartenant à l'une des catégories précédentes au voisinage de la surface ; leur allure, souvent très différente de la disposition primitive, accuse quelquefois un développement particulier des phénomènes de substitution.

4° Les *Gîtes sédimentaires* ont été déposés, comme tous les sédiments marins ou lacustres, au fond d'un bassin, par un ensemble de phénomènes chimiques ou mécaniques ; ce sont des gîtes parallèles en principe aux strates encaissantes et, comme elles, primitivement horizontaux. Ils sont empruntés à un remaniement lointain et après transport de produits métallifères antérieurs.

Cette classification a pour but de ranger les gîtes logiquement dans l'ordre même où ils semblent s'être constitués, en partant des plus simples et les plus directement restés en rapport avec leur origine première (1°, 2°) pour aboutir à ceux qui ont subi les remaniements les plus complexes (3°, 4°). Il est donc nécessaire, avant d'aller

plus loin, d'exposer le mode de formation probable des gîtes métallifères d'une façon générale et sommaire, sous une forme aussi condensée que possible (Chap. II) ; après quoi, nous reviendrons sur la démonstration de cette théorie (Chap. III) et nous terminerons par la description plus détaillée de chacune des catégories de gîtes (Chap. IV à VIII).

CHAPITRE II

ORIGINE PREMIÈRE DES MÉTAUX. EXPOSÉ DE LA FORMATION DES GÎTES. RÉPARTITION CHIMIQUE DES MÉTAUX ENTRE LES DEUX CATÉGORIES DE GÎTES ORIGINELS

2. Les métaux, que nous exploitons dans certains gisements, toujours relativement voisins de la surface, ont pu, avant d'arriver dans leur état actuel, passer par un circuit plus ou moins long dont nous étudierons bientôt les étapes ; leur origine première n'en doit pas moins être cherchée dans les profondeurs de l'écorce terrestre.

La Terre me parait, en effet, pouvoir être assimilée à une sphère primitivement fluide, dans laquelle, avant la consolidation, les éléments chimiques se sont trouvés classés, de la circonférence au centre, dans l'ordre croissant de leurs poids atomiques : d'abord, à la périphérie, l'hydrogène et l'oxygène ; puis le groupe des

métaux alcalins, avec l'aluminium et le silicium, constituant la croûte silicatée ; les métalloïdes minéralisateurs (chlore, soufre, carbone, etc.) ; enfin les métaux proprement dits, formant le noyau dense interne ⁽¹⁾.

L'existence de ce *noyau* lourd, métallique, chaud et probablement liquide, qui nous importe surtout en ce moment, n'est pas une simple hypothèse. Sa *densité* est prouvée par la comparaison des mesures précises qui attribuent à toute la Terre une densité de 5,56, avec la densité de l'écorce superficielle (2 à 3 pour les roches, 1 pour l'eau) ; dès lors, sa *nature métallique* résulte de ce fait que les métaux sont les plus denses des éléments chimiques connus, étant donnée la présomption fournie par l'analyse spectrale que nous avons dans notre champ d'investigation les principaux éléments (ou états) chimiques de l'univers.

En outre, sa *chaleur* est suffisamment mise en évidence par la température croissante dans les sondages, dans les puits de mines, les tunnels, par la thermalité des sources artésiennes ; quant à sa *liquidité*, complète ou partielle, permanente ou momentanée, elle semble manifes-

(1) On trouvera l'exposé de cette théorie nouvelle, dont je dois me contenter d'indiquer ici les conclusions, au Chap. XV de ma *Science géologique*.

tée par les éruptions de roches en fusion, qui peuvent, il est vrai, au lieu de provenir directement du noyau interne, avoir passé par une poche ignée constituant un premier stade d'ascension, qui peuvent encore être attribuées à un échauffement local causé par quelque phénomène sédimentaire ou dynamique, mais qui n'en indiquent pas moins la présence de magmas ignés liquides à une certaine profondeur.

Quelles que soient les tendances actualistes que l'on professe, c'est, je crois, de ce noyau lourd qu'il faut, en dernière analyse, faire provenir d'abord les métaux. Mais, pour toute une école géologique, la séparation entre ce noyau et l'atmosphère extérieure où nous vivons s'est faite, par la consolidation de l'écorce primitive, depuis les temps les plus reculés, les plus impossibles à atteindre par nos investigations ; et, depuis lors, sans aucune relation avec ce noyau interne, les gîtes métallifères, les roches qualifiées d'éruptives elles-mêmes proviendraient, suivant ces géologues, du simple jeu des eaux superficielles, des actions météoriques, des échauffements amenés par les réactions chimiques ou les mouvements mécaniques dus à la gravité, de la sédimentation enfin. Invoquer des causes profondes leur paraît être un aveu d'impuissance. J'aurai à m'élever contre cette théorie exclusive et je m'efforcerai de démontrer que la formation

des gisements de ségrégation ignée ou de dépôt hydrothermal, tout aussi bien que celle des roches éruptives, sont, en même temps que deux faits connexes, deux faits d'origine profonde.

On arrive, ce semble, d'une façon très nette à lever les objections principales que pourrait attirer cette conclusion, quand on tient compte des altérations secondaires, sur lesquelles j'ai appelé autrefois l'attention : altérations, qui sont un remaniement à peu près sur place, comme les sédimentations sont un remaniement à distance et quand on envisage la notion de profondeur originelle, ou d'érosion plus ou moins avancée, dont j'ai également montré le rôle capital (1).

La relation d'origine entre les gîtes métallifères et les roches, que nous prendrons ainsi comme base de notre théorie, apparaît directement dans le cas des gîtes d'inclusion et de ségrégation ; elle est encore très manifeste pour certains métaux toujours directement reliés aux mêmes roches : tels que l'étain associé à des granites acides, ou le cuivre souvent localisé au voisinage immédiat d'une roche basique dans des gîtes de contact originel ou de départ immédiat. De proche en proche, on arrive, comme

(1) L. DE LAUNAY — *Contribution à l'étude des gîtes métallifères*, Dunod, 1897 ; — *La Science géologique*, Chap. IX, X et XIV. Armand Colin, 1905.

nous le verrons dans la suite de ce livre, à établir la même loi pour l'ensemble des gîtes hydrothermaux.

Si l'on admet donc, comme c'est aujourd'hui l'avis presque unanime des géologues, cette relation d'origine entre les concentrations métallifères et les roches éruptives (quelle qu'en soit d'ailleurs la nature), il est rationnel d'envisager comme la forme type et initiale de gisements, ceux où les métaux sont restés englobés dans ces roches éruptives au même titre que les autres minéraux constitutifs de la roche, c'est-à-dire les *inclusions*, et ceux où une réaction de métallurgie ignée, qui n'est pas spéciale aux minerais, mais qui a pu se produire également pour des minéraux quelconques, comme on le voit en pétrographie, a déterminé des concentrations locales, ou *ségrégations*.

Pour passer de là à la seconde catégorie de gîtes ou *dépôts hydrothermaux*, nous devons rappeler ici les principaux résultats obtenus par l'étude des phénomènes volcaniques actuels et des roches éruptives anciennes, résultats sur lesquels nous reviendrons ultérieurement plus en détail au § 5.

L'étude des *volcans* montre que, sur certains points faibles de l'écorce, parfois alignés en traînées discontinues, il se produit des explosions internes accompagnées de projections de

roches pulvérisées et de coulées de laves fondues. Ces laves, que la pression de la vapeur d'eau a pu contribuer à soulever de la profondeur, dégagent, avec cette vapeur d'eau, des fumerolles chargées de principes salins, en même temps qu'il cristallise autour du cratère quelques très rares produits métalliques, tels que le fer oligiste, ou, exceptionnellement, des sels de cuivre, de plomb, etc. L'analyse de ces fumerolles montre, en principe, que, lorsque la lave est très chaude, les chlorures y dominent; puis, que ceux-ci cessent de se dégager en laissant la première place aux sulfures et qu'après la disparition de ces sulfures, les carbures dominent à leur tour.

L'étude des roches éruptives anciennes enseigne, d'autre part, qu'à chaque période de plissement ayant amené l'ascension du magma interne, ont correspondu des séries de roches comparables, arrivées plus ou moins haut ou plus ou moins vite dans l'écorce superficielle : les premières plus acides, comme si elles étaient une scorie légère venant des parties supérieures du bain fondu, plus intimement brassées par les vapeurs oxydantes; les dernières plus basiques et plus denses, comme si elles étaient le résidu profond et presque inaltéré de ce bain métallique.

De ces roches, les unes ont cristallisé à haute

température, sous pression, dans l'intérieur du sol ; les autres sont montées plus haut en dykes ou en filons sans atteindre encore la surface et, comme terme extrême, certaines d'entre elles sont arrivées jusqu'au jour à la façon de nos laves et se présentent alors en coulées, avec accompagnement de projections cinéritiques.

Lorsque les *roches de profondeur* sont acides comme les granulites, on voit qu'elles se sont solidifiées en présence de minéralisateurs intenses, parmi lesquels on est conduit à faire intervenir surtout les chlorures et les fluorures ; à leur périphérie, se sont alors concentrés certains métaux, dont l'étain (filons de retrait, de contact, stockwerks, etc.) ; lorsqu'elles sont basiques comme les péridotites, on les trouve, au contraire, chargées de métaux, soit natifs comme le platine, soit incomplètement oxydés comme la magnétite, le fer chromé, etc. (inclusions et s'grégations). A d'autres types intermédiaires de roches intrusives et filoniennes semblent correspondre des métaux cristallisés en sulfures, comme le plomb, le zinc, etc., (filons de fracture).

Enfin les *roches arrivées au jour*, dont les produits volcaniques actuels sont le type le plus caractéristique, paraissent avoir été très rarement accompagnées de dépôts métalliques, ainsi que l'absence presque absolue de tels dépôts dans nos

volcans actuels suffirait à le prouver. On peut expliquer cette absence de produits métallifères par le départ antérieur en profondeur des minéralisateurs et de la vapeur d'eau, auxquels nous attribuons un rôle essentiel dans la cristallisation des métaux. La formation des gîtes métallifères primitifs (non remaniés) me paraît avoir toujours exigé une certaine profondeur entraînant l'influence de la pression et, pour mettre ces gisements à nu, il a fallu le travail prolongé des érosions consécutives.

Les zones volcaniques actuelles et les éruptions récentes sont marquées seulement par des dégagements de carbures d'hydrogène et d'acide carbonique (attribuable à la combustion de ceux-ci), qui entraînent la mise en mouvement dans les eaux souterraines et le dépôt en filons des métaux communs, facilement solubles à l'état de carbonates, tels que le calcium, le magnésium, le fer, le manganèse, parfois le baryum, etc.

L'examen des roches éruptives et des gisements métallifères connexes conduit, en résumé, à admettre, par comparaison avec les phénomènes volcaniques, une succession de fumerolles chlorurées, sulfurées, carburées, ayant amené la formation de filons d'étain (parfois d'or); puis de plomb, zinc, etc.; enfin des dégagements de gaz carboniques ayant pu apporter du

fer ou de la chaux et, dans une région disloquée, l'apparition de ces produits l'un après l'autre semble correspondre à des étapes du refroidissement ou à des distances plus grandes du magma éruptif.

C'est-à-dire que les métaux, tout d'abord *inclus* dans la roche, ou *ségrégés* dans sa masse, s'en sont ailleurs dégagés en fumerolles et que ces fumerolles ont, en se dispersant, imprégné les eaux produites par la condensation de la vapeur qui les accompagnait ou d'autres eaux d'origine superficielle, qui, par un circuit artésien, sont venues alors déposer des cristaux dans les fissures diverses de l'écorce (1).

Quoiqu'on en pense — et ici, nous sortons, on peut le dire, des hypothèses, — ces *eaux minéralisées* ont été l'agent essentiel dans la formation de la seconde catégorie des gîtes métallifères, que nous avons appelés les *dépôts hydrothermaux*. Aussi aurons-nous à étudier

(1) On a parfois cru retrouver, dans un filon déterminé, l'ordre de succession des fumerolles. Ainsi von Richtofen, dans certains filons de Hongrie, a constaté que le quartz s'est déposé d'abord, puis les sulfures et enfin les carbonates (*Jahrb. d. K. K. g. R.*, 1860, p. 276; cf. Groddeck, p. 466). Ailleurs, il a semblé qu'on apercevait, autour d'un massif cristallin, des auréoles successives de métaux ayant nécessité, pour rester en dissolution, des minéralisateurs de moins en moins intenses et une pression de moins en moins forte.

les eaux minérales actuelles, qui leur sont, à certains égards, comparables.

La circulation de ces eaux dans les vides de forme quelconque, que pouvaient présenter les terrains et les roches, a donné les types très variés de gisements que nous rattachons à ce groupe.

Quant aux gîtes secondaires, les *gîtes d'altération* ou *de remise en mouvement* sont le produit de réactions exercées plus ou moins anciennement sur les parties hautes de gîtes primitifs par le contact des eaux souterraines chargées d'oxygène et de réactifs divers.

Enfin les *gîtes sédimentaires* résultent, soit de la précipitation chimique d'éléments dissous dans les eaux, soit de leur concentration par des phénomènes de préparation mécanique. Dans le premier cas, on a supposé autrefois que la dissolution métallifère avait pu être alimentée par des sources filoniennes ; il semble beaucoup plus probable que les métaux ont dû préexister dans les parois du bassin et c'est là que les eaux ont commencé par les dissoudre. Ce phénomène de remaniement, très vraisemblable pour les gîtes de précipitation chimique, devient certain pour les gîtes de concentration mécanique, tels que les alluvions.

3. Répartition chimique des métaux entre les deux catégories de gîtes primitifs. — J'ai essayé d'indiquer comment le déplacement des roches ignées, acides ou basiques, dans les plissements de l'écorce et la reprise de leurs fumerolles par les eaux souterraines, puis le remaniement de la croûte terrestre par les eaux superficielles, avaient dû amener la localisation des métaux en inclusions et ségrégations, en dépôts hydrothermaux, puis en concentrations superficielles et en sédiments. On peut aller plus loin et, du seul fait que les métaux, d'abord mélangés, ont eu à subir ces deux opérations métallurgiques successives, l'une ignée, l'autre hydrothermale, suivies d'altérations et de remaniements mécaniques superficiels, déduire, par la connaissance de leurs propriétés acquise en chimie, leur répartition probable entre les gîtes de diverses natures.

¹^b Les *actions ignées* ont produit, au-dessus du noyau métallique composé apparemment de métaux natifs ou associés entre eux, des roches acides ou basiques, assimilables à des scories et à des laitiers : roches par l'intermédiaire desquelles sont arrivés jusqu'à nous tous les métaux que nous connaissons. La séparation des métaux entre les roches diverses s'est faite suivant leurs affinités variables pour les minéralisateurs : chlore, soufre, oxygène en excès, etc., et la

basicité plus ou moins grande de leurs oxydes.

Avec les *roches acides*, chargées à la fois d'une surabondance de silice et de minéralisateurs en excès, ont été entraînés :

D'une part, dans la roche même, à l'état de silicates, tous les métaux facilement oxydables et donnant des oxydes basiques fixés par la silice, tels que les alcalis, potasse, soude, etc. ; les métaux alcalino-terreux, chaux, magnésie, strontiane, baryte ; l'alumine et une bonne partie du fer ;

D'autre part, dans les fumerolles, ceux qui n'avaient d'affinité que pour le chlore ou le fluor, et qui, par suite de leur départ avec ces fumerolles chlorurées auxquelles la chaleur était particulièrement nécessaire, ne se sont jamais éloignés beaucoup de la roche mère, souvent même s'y sont reprecipités en inclusions (étain, or), ou encore les métaux alliés au soufre et à ses homologues, que nous retrouverons également à la périphérie des roches basiques (zinc, plomb, etc.).

Avec les *roches basiques* ont été apportés :

Soit en inclusions, des grenailles de métaux pratiquement inoxydables, comme le platine ou l'or, ou des oxydes incomplets (salins, indifférents ou faiblement basiques), de fer, chrome, nickel, cobalt, etc. ; soit en ségrégations, des métaux analogues, dont les circonstances spé-

ciales et, sans doute, en particulier, l'abondance de la vapeur d'eau ou des fumerolles sulfureuses avaient facilité la concentration locale.

2° Le rôle des *eaux souterraines* a été de reprendre ces éléments divers : silicates des roches, inclusions et surtout fumerolles, et de les déposer, dans des phases variables de leur parcours souterrain ou superficiel, suivant leur degré de solubilité.

Sans insister davantage, on voit que la classification résultante sera la suivante :

A. Métaux pratiquement réfractaires à toute combinaison et insolubles. — Gîtes d'inclusion à l'état natif en roches basiques : platine, palladium, iridium, or, etc.

B. Métaux n'ayant pas d'affinité pour les minéralisateurs et donnant, avec l'oxygène, des oxydes neutres ou acides. — Gîtes d'inclusion oxydée et de ségrégation purement ignée en roches basiques (fer en magnétite, chrome, nickel, cobalt, manganèse, titane, vanadium, etc.).

C. Métaux ne se combinant qu'avec le chlore, le fluor, etc. (donc avec des minéralisateurs énergiques et cessant de se dégager quand la roche descend au-dessous de 500°). — Gîtes d'inclusion à l'état natif ou oxydé et gîtes filoniens divers, localisés au voisinage immédiat d'une roche éruptive acide (étain, bismuth, tungstène, zirconium, uranium, or, etc.).

D. Métaux formant des sulfures doubles ou des persulfures solubles à chaud et sous pression, mais facilement reprécipités (forcés probablement de se déposer au-dessous de 150 à 200° et peut-être même seulement au-dessous de 100°, dans le cas du mercure). — Gîtes sulfurés de départ hydrothermal, avec association possible d'arsenic ou d'antimoine ; ségrégations sulfurées ; filons ; imprégnations, substitutions, etc. (cuivre, plomb, zinc, fer, cobalt, argent, mercure, etc.).

E. Métaux faiblement solubles à l'état de combinaisons oxydées basiques. — Gangues filoniennes (calcium, strontium, magnésium, baryum, etc.).

F. Métaux formant des sels presque tous solubles. — Gîtes sédimentaires d'évaporation (potassium, sodium, etc.) (1).

A côté de ces gîtes qu'on peut (sauf le dernier) qualifier de primitifs, les métaux natifs et insolubles se retrouvent, à l'état secondaire, dans les gîtes sédimentaires d'origine mécanique (platine, or, étain) ; les autres, pour la plupart solubles par oxydation, à l'état de sédiments de précipitation chimique.

(1) Les métaux des deux derniers groupes E et F sont, en raison de la facilité avec laquelle ils forment des bases en s'oxydant, les éléments naturels de la scorie silicatée, où ils jouent le rôle d'inclusions.

Enfin les altérations ont eu pour effet ordinaire d'augmenter, au voisinage de la superficie, la proportion des sels oxydés.

Il convient, d'ailleurs, d'ajouter qu'outre les affinités chimiques plus ou moins nombreuses permettant une scorification et un départ plus ou moins faciles, le poids atomique du métal a dû intervenir dans la classification primitive des métaux au milieu du bain fondu et dans sa rareté plus ou moins grande à la superficie.

En outre, le fer se trouve mis à part par son évidente surabondance qui lui a permis de rester en quantité notable dans le résidu basique malgré sa scorification aisée et son départ sous l'influence des minéralisateurs divers.

Si l'on tient compte de ces divers éléments de classification, on aura la clef de certaines associations minéralogiques naturelles, que nous aurons à étudier dans les gîtes filoniens.

Dans un autre ordre d'idées, ce rapide exposé aura permis de voir comment on est amené, pour expliquer la formation des gîtes métallifères, à se fonder sur l'observation d'un certain nombre de phénomènes actuels, tels que les actions volcaniques (fumerolles, solfatares, mofettes, geysers, etc.), les sources thermales, les dépôts de précipitation chimique dans les bassins fermés, etc. À ces phénomènes actuels naturels, que nous examinerons dans le chapitre

suivant, nous joindrons les résultats obtenus par l'expérimentation ; ce sont là, en effet, les deux fondements solides de toute interprétation géologique. Puis nous montrerons quelles ressources peuvent offrir la pétrographie et la chimie pour l'interprétation d'une formation métallifère. Alors seulement, nous commencerons l'étude théorique et détaillée des quatre catégories de gîtes distinguées plus haut : inclusions et ségrégations, dépôts hydrothermaux, remises en mouvement locales et sédiments.

CHAPITRE III

—

PHÉNOMÈNES ACTUELS POUVANT SERVIR A EXPLIQUER LA FORMATION DES GÎTES MÉTALLIFÈRES

4. Les phénomènes actuels, que nous aurons à étudier dans ce chapitre et dont nous avons déjà indiqué sommairement la nature, se divisent en deux grandes catégories :

1° Ceux dans la production desquels interviennent, soit la chaleur, soit la pression, soit une cause profonde ; tels que les volcans (fumerolles, etc.), et les sources thermales.

2° Ceux qui se produisent à la température et à la pression ordinaire : évaporations de bassins salés et de lagunes, dépôts de fer des marais, concentrations de substances lourdes ou dures dans les alluvions, incrustations dans les vides souterrains, altérations superficielles des roches et terrains, etc.

Dans tous ces phénomènes, nous ne saurions trop insister sur le rôle essentiel, prépondérant,

qu'ont joué les eaux. On peut dire que la chimie, que la métallurgie du globe sont constamment faites et recommencées par les eaux ; et ce sont ces eaux qui, tantôt s'échappant des profondeurs où elles étaient emprisonnées, tantôt y pénétrant à la faveur des plissements du sol, jusqu'à la zone où s'élaborent les roches éruptives, tantôt circulant au voisinage de la surface dans les vides, les fissures et les pores du sol, tantôt roulant et dissolvant les éléments des roches détruites, tantôt s'évaporant peu à peu dans des bassins fermés dont elles avaient rongé les rivages, ont, par des opérations longues et complexes, rassemblé les éléments métalliques dans les gîtes où nous les recherchons.

Nous terminerons par quelques indications sur le résultat des essais de synthèse et de l'analyse des roches.

5. Phénomènes volcaniques, fumerolles, solfatares, mofettes, etc. — Une éruption volcanique, si on la ramène à ses traits les plus simples, comprend, à la suite d'une explosion de vapeur d'eau, l'ouverture, sur un alignement qui peut correspondre à quelque fissure invisible, d'un ou plusieurs orifices circulaires d'où sort une colonne de fumée sillonnée par des décharges électriques ; puis, sur la périphérie de l'orifice, l'accumulation progressive des poussières de lave ou cendres.

On a expliqué de trois façons principales cette abondance extraordinaire de vapeur d'eau, qui constitue le fait le plus caractéristique du volcanisme. Suivant les uns, elle provient d'une réserve profonde et arrive au jour pour la première fois ; suivant d'autres, elle est due à la refusion des roches cristallines, qui renferment toujours une certaine quantité d'eau dans leur composition (expériences de M. A. Gautier) ; pour les troisièmes, c'est une simple infiltration superficielle qui remonte au jour. Les deux derniers phénomènes doivent presque certainement jouer un rôle ; mais le premier me semble prédominant (1).

La même question se pose d'une façon identique pour les éléments salins qui constituent les fumerolles, et me paraît devoir être résolue de même. Ces éléments, en raison de leur banalité, existent aussi bien dans les roches cristallines, dont on invoque la refusion que dans les eaux superficielles, dont on suppose la pénétration ; mais elles ne s'y trouvent sans doute que parce qu'elles sont d'abord venues de la profondeur à la faveur du volcanisme, par un phénomène analogue à celui qu'il s'agit d'expliquer.

Quoi qu'il en soit, l'étude des *fumerolles*

(1) Voir la discussion de cette question, dans la *Science Géologique*, p. 158, 552, 635.

ou produits volatils dégagés par les laves, fournit, pour notre sujet, des points de comparaison précieux.

Ces fumerolles (d'après Sainte-Claire-Deville, Fouqué, etc.), se retrouvent les mêmes dans tous les volcans et semblent surtout se modifier, non par l'addition, mais par la disparition de certains éléments, à mesure que la température de la lave s'abaisse : soit qu'on examine celle à un point plus éloigné de sa sortie au jour ; soit, en un même point, après qu'elle est restée plus longtemps à l'air ; soit même dans une phase postérieure de l'éruption. Leur caractère est, comme nous venons de le voir, l'abondance de la vapeur d'eau. Jamais, ainsi que l'avait fait remarquer déjà Elie de Beaumont, on n'a affaire à une distillation sèche.

On est conduit à admettre que la lave contenait en profondeur un certain nombre de gaz emprisonnés, particulièrement de *gaz réducteurs et combustibles*, tels que l'hydrogène, des chlorures divers, l'hydrogène carboné, l'hydrogène sulfuré et que ces gaz se sont incomplètement oxydés dans la gigantesque cheminée d'appel que constitue le cratère.

Ces produits se dégagent d'abord tous ensemble, mais s'épuisent successivement quand la lave se refroidit :

1° Au-dessus de 500°, on a des *fumerolles sèches*

ches ou *anhydres* comprenant, outre tous les éléments que nous retrouverons dans les suivantes (chlorhydrate d'ammoniaque, hydrogène sulfuré, acide carbonique), une abondance spéciale et caractéristique de chlorures anhydres (principalement chlorure de sodium, puis chlorures de potassium, manganèse, fer, cuivre) et du fluor.

De 400 à 300°, les chlorures alcalins disparaissent et l'acide sulfureux, quoique encore seulement en proportion de 1 à 10 par rapport à l'acide chlorhydrique, devient très perceptible à l'odorat. La somme des deux gaz n'entre d'ailleurs que pour $\frac{1}{1000}$ dans les fumerolles, surtout composées de vapeur d'eau. Ces fumerolles sont dites *acides*. Elles déposent de l'oligiste.

2° Vers 100°, les fumerolles deviennent *alcalines* : le chlore n'est plus représenté que par du chlorhydrate d'ammoniaque donnant, par décomposition, de l'ammoniaque libre. L'hydrogène sulfuré prédomine avec la vapeur d'eau. C'est la période sulfurée proprement dite et cette période se prolonge au-dessous de 100°. en même temps que l'acide carbonique tend, de plus en plus, à prédominer.

3° Enfin, de la lave presque refroidie, ne se dégagent plus que des *mofettes*, ou émanations d'acide carbonique, qui durent ensuite très long-

temps et persistent dans les régions de volcans éteints comme l'Auvergne.

Parmi les minerais qui se forment sur les volcans, on peut citer le fer oligiste, les chlorures de plomb, cuivre et manganèse, l'acide borique, le réalgar, l'or piment, etc.

A côté des volcans en activité, les *solfatares* sont des cratères volcaniques fermés, qui émettent constamment de grandes quantités d'eau mélangées d'hydrogène sulfuré (brûlé en acide sulfureux) et d'un peu d'hydrogène libre. On peut, par suite, les rapprocher de la période sulfurée des volcans.

M. de Lapparent a remarqué, à ce propos, que les solfatares étaient associées aux roches acides, roches qui n'ont pu venir au jour et s'épancher qu'à une température relativement élevée et grâce à l'abondance des matières volatiles. Les mofettes d'acide carbonique, qu'on peut attribuer à la simple oxydation du carbone du bain métallique, se trouvent, au contraire, à proximité des roches basiques, souvent les dernières venues dans une période éruptive, ou les plus profondément situées dans la poche interne vidée par l'éruption. Cela revient à admettre que, dans cette poche, comme il était logique de le prévoir, l'abondance des éléments volatils diminuait avec la profondeur, depuis la couche supérieure scoriacée, constam-

ment brassée par les gaz, jusqu'au résidu métallique du fond.

6. Sources thermales et geysers. — Les sources thermales sont tout particulièrement intéressantes pour le sujet qui nous occupe ; car si, dans les phénomènes volcaniques, nous pouvons trouver quelques points de comparaison utiles pour expliquer l'origine des métaux filoniens, dans les sources thermales nous voyons, on peut le dire, en train de se continuer de nos jours sous une forme appauvrie, le phénomène filonien lui-même. Quand une circonstance, qui se manifeste (aujourd'hui du moins) exceptionnellement à la surface du sol, leur a apporté des métaux à dissoudre en profondeur, les eaux thermales deviennent, en quelque sorte, des filons en mouvement.

Une source thermale est une venue d'eau chaude et minéralisée, provenant le plus souvent des infiltrations d'eaux superficielles ⁽¹⁾, qui se sont échauffées et chargées de sels minéraux dans les couches profondes du globe et remontent rapidement au jour par quelque large fracture de l'écorce, faille, filon, etc.

Il est possible qu'il y ait, en outre, dans les régions volcaniques, des sources thermales

(1) L. DE LAUNAY. — *Sources thermo-minérales. Recherche, captage et aménagement.* Bé-ranger, 1897.

d'une autre nature, dont l'eau aurait la même origine que celle rejetée par le volcanisme lui-même.

De toutes façons, le fait essentiel dans la source thermale est l'existence d'une large fracture très profonde, qui ouvre une issue anormale à de l'eau emmagasinée sous pression au-dessous du niveau hydrostatique. Par là encore, la fissure hydrothermale est comparable à un filon ancien.

J'ai essayé, en outre, de montrer que les sources thermales sont localisées strictement dans les régions du globe à dislocations récentes : c'est-à-dire que de telles dislocations doivent se trouver rapidement obstruées et ne peuvent donc, au bout d'un certain temps, laisser passer les eaux. Il en résulte que, pour les filons métallifères, l'âge de la fracture et celui de son remplissage, quoique pouvant être distincts en théorie, ont bien des chances pour être très voisins et pour correspondre à la même période géologique.

On peut distinguer, dans les sources thermales, d'après leur mode d'émergence, deux catégories principales : 1° les sources véritablement filoniennes, qui arrivent directement à la surface par une fissure du terrain et dont le *griffon* ⁽¹⁾ se trouve sur cette fissure même ; 2° les sources en quelque sorte interstratifiées, qui, trouvant dans

(1) On appelle ainsi le point d'émergence d'une source thermale.

leur ascension une couche poreuse de grès ou de sable, s'y répandent et qu'on est alors souvent conduit à y aller chercher par des sondages. A côté des filons proprement dits, que représentent les premières, les autres sont des types actuels de gîtes d'imprégnation. Les filons-couches seraient un cas intermédiaire.

Ces principes généraux posés, nous allons tour à tour examiner pour les sources, comme nous le ferons pour les filons : 1° la fracture ; 2° les eaux qui y circulent et leurs dépôts.

1° *Fractures donnant issue aux sources thermales.* — Une source quelconque, dans les terrains sédimentaires, sort habituellement au contact de deux nappes : l'une inférieure, imperméable, qui a retenu et accumulé les infiltrations des eaux de pluie ; l'autre supérieure, perméable, dans laquelle celles-ci ont circulé. Une source thermale se distingue aussitôt par ce fait que la position de son point d'émergence est indépendante de la nature physique du sol et déterminée seulement par la présence d'un redressement brusque des couches ou d'une fracture profonde, autrement dit par un accident mécanique des terrains amenant la sortie au jour d'une eau profonde, à laquelle cette profondeur a donné la thermalité (1).

(1) Un cas intermédiaire entre les sources ordinaires et les sources thermales est représenté par les sources

Cette connexion intime entre les sources thermales et les phénomènes mécaniques amène leur groupement général dans les régions les plus récemment troublées de l'écorce, en particulier sur les dernières zones de plissement et d'effondrement, et souvent sur la périphérie des noyaux cristallins résistants, aux points où ces noyaux ont amené, dans les couches juxtaposées, des ruptures par torsion, ou par un jeu de soulèvements et d'affaissements qui les entraînaient incomplètement.

Certaines de ces régions nouvellement disloquées ayant déjà subi auparavant d'autres dislocations suivies de métallisations hydrothermales, il arrive, dans les champs de fractures correspondants (Saxe, Bohême, Toscane, Sud-Est de l'Espagne) que des sources thermales en activité sortent encore d'un ancien filon réouvert.

Plus généralement, les sources thermales ont pour cause l'existence d'une faille ou d'un filon (éruptif ou métallifère) et viennent sourdre à la rencontre de cet accident avec une dépression topographique, qui constitue de son côté une ligne de moindre pression hydrostatique.

dites *vaclusiennes*, qui remontent, comme ces dernières, sous pression par une large fracture, mais qui s'en distinguent par le caractère localisé de cette fracture, simple cassure élargie d'un terrain calcaire et, dès lors, par une faible profondeur originelle, en sorte qu'elles ne sont pas thermalisées.

Des conditions analogues ont pu se produire pour les filons anciens ; mais il serait dangereux de pousser trop loin l'assimilation entre les deux phénomènes hydrothermaux. Dans les sources thermales actuelles, nous ne voyons que la manifestation superficielle et les éléments chimiques en dissolution ; dans les filons anciens, nous observons, au contraire, la manifestation relativement profonde et les substances précipitées.

J'ajoute que l'eau thermale est un simple agent de transport ; elle n'entraîne que ce qu'elle a reçu : dans les conditions ordinaires de nos sources actuelles, on n'y trouve donc que les éléments banals des terrains en contact avec le circuit des eaux souterraines. Pour qu'il y ait eu métallisation par les eaux anciennes, il faut qu'une circonstance spéciale, qui, pour nous, est une fumerolle volcanique, ait alimenté en métaux leur circuit profond.

2° *Éléments chimiques contenus dans les eaux. Dépôts actuels.* — Les dépôts actuels des sources thermales sont, en somme, assez restreints. Indépendamment des produits de remaniement entraînés mécaniquement et accumulés dans la vasque qui termine souvent la fissure, ils se composent surtout de calcite, d'aragonite, d'oxyde de fer ou de manganèse.

Comme éléments plus rares, on connaît des

dépôts de barytine (la Maloue, Carlsbad); de strontiane; de fluorine; de carbonate de manganèse; d'or piment (Saint-Nectaire); de pyrite de fer (Chaudesaigues, Aix-la-Chapelle) de cinabre (Californie, Nouvelle-Zélande), etc.

Les travaux classiques de Daubrée sur les débris antiques trouvés dans les captages des sources de Plombières, Bourbonne et Bourbon-l'Archambault ont, en outre, montré qu'une eau à température relativement faible et sous la pression ordinaire, pouvait produire, si un accident mettait en contact avec elle des métaux, un certain nombre de minerais et de gangues filoniennes.

A Bourbonne, le cuivre de médailles romaines avait donné, par action de sulfates alcalins en présence de matières organiques les ramenant à l'état de sulfures, du cuivre sulfuré, du cuivre pyriteux, du cuivre panaché, du cuivre gris, du cuivre oxydulé, de l'oxychlorure et du silicate de cuivre. Le plomb de tuyaux s'était, sous la même influence, transformé en plomb sulfaté, plomb carbonaté, plomb sulfuré; le fer, en pyrite de fer entourée de sidérose.

A Plombières, il s'était produit, en outre, par substitution sur des briques et des bétons, diverses zéolithes, de l'opale, de la fluorine, un hydro-carbonate de magnésie et de l'halloysite.

Les *geysers* ne sont qu'un cas particulier des

sources thermales. Ce sont, en somme, des sources chaudes jaillissantes, souvent intermittentes, qui déposent, autour de leur orifice, un tuf siliceux formé de silice hydratée, dit geysérite. On les trouve surtout dans les régions volcaniques (Islande, Nouvelle-Zélande, Californie et Yellowstone-park, etc.). Leur chaleur spéciale est attribuable à la température des roches éruptives en profondeur ; leur silice, à l'action des vapeurs sulfureuses et chlorhydriques amenées par l'eau sur les silicates alcalins des roches traversées. Ces vapeurs elles-mêmes peuvent être causées par des fumerolles.

7. Évaporation des bassins salés et des lagunes. — Lorsqu'on fait évaporer de l'eau de mer à la température ordinaire, il se produit successivement du gypse, puis du sel marin, puis du sel amer chargé de sulfate de magnésie, enfin un chlorure double de potassium et de magnésium, qu'on appelle la carnallite. Les dépôts de ces mêmes substances contenus dans un grand nombre de terrains géologiques prouvent que ce phénomène d'évaporation a été souvent réalisé anciennement (1).

Mais, en dehors de ces éléments principaux, l'eau de mer contient en dissolution la presque

(1) L. DE LAUNAY. — *La Science Géologique*, p. 474 et suiv.

totalité des éléments chimiques et, spécialement, des métaux. Cela n'a rien que de très naturel puisqu'elle triture constamment les roches primitives, qui en renferment des traces et les terrains sédimentaires, où ces traces ont pu une première fois se concentrer.

Dans les conditions ordinaires, ces traces métalliques sont insignifiantes et, sauf pour quelques corps particulièrement abondants comme le fer ou le phosphore, il ne semble pas que, même en se concentrant par évaporation, elles aient pu former un véritable gisement industriel. Il n'a pas dû en être de même sur les rivages ou dans les lagunes qui bordaient une grande chaîne de plissement soumise à l'érosion, où cette érosion s'était trouvée mettre à nu des filons ou amas métallifères. On conçoit qu'il ait pu ainsi s'accumuler, sur certains points, à des époques privilégiées, généralement consécutives des plissements, des quantités de sels métalliques, un peu plus tard précipitées par l'évaporation ou par l'action réductrice de matières organiques exercée sur des sulfates. Nous serons conduits à interpréter ainsi certains gîtes sédimentaires de précipitation chimique, tels que les schistes cuprifères du Mansfeld (Allemagne), les grès cuprifères de Perm (Russie), de Corocoro (Bolivie) ou du Boléo (Basse-Californie).

Dans le Mansfeld, par exemple, les faits d'éva-

poration sont nettement marqués. Au-dessus des schistes cuprifères, on trouve, d'abord une mince couche de calcaire dolomitique (donc magnésien), puis un puissant dépôt de gypse souvent imprégné de sel gemme, représentant les premiers dépôts abandonnés par l'eau de mer en se concentrant. Il y a, en outre, une abondance toute spéciale de poissons fossiles dans la couche de schistes bitumineux cuprifères et leur accumulation n'a pu manquer de contribuer à la réduction des sels de cuivre.

8. Précipités chimiques. Dépôts de fer actuels des lacs et des marais. Géologie en action. Transformation ou métamorphisme des minerais. — Pour qu'un précipité chimique se produise dans un bassin, il semble nécessaire que l'eau de ce bassin soit arrivée à concentration, comme dans le cas précédemment étudié des lagunes salines, ou que des réactions chimiques aient été provoquées par la présence de certains éléments, tels que les hydrocarbures réducteurs ou le carbonate d'ammoniaque dû à l'activité vitale (pyrite dans la vase de nos ports ; glauconie ou hydro-silicate de fer des vases vertes sur les côtes du Pacifique vers 100 mètres de profondeur ; argile rouge à nodules manganésifères des grands fonds marins).

Les phénomènes actuels ne nous font pas

assister à une formation métallifère très importante dans les terrains géologiques et qui reste pour nous mystérieuse, celle des carbonates de fer oolithiques marins, plus tard transformés par altération en oolithes d'hématite. L'étude de ces dépôts anciens semble seulement indiquer, comme nous le verrons au § 40, qu'ils sont dus à une précipitation chimique littorale, pour laquelle le carbonate d'ammoniaque a pu intervenir. Mais nous voyons se former sous nos yeux, dans des conditions différentes, dans des lacs ou des marais au lieu de rivages marins, des précipités ferrugineux analogues, dont les représentants géologiques sont beaucoup plus rares.

Les dépôts actuels de *fer des lacs* ou *des marais* sont surtout développés dans la Basse-Lusace, la Silésie, la Pologne, le Banat, le Jutland, la Finlande, les bords du Donetz, les lacs de Scandinavie, l'Amérique du Nord.

Les minerais lacustres reposent généralement sur un fond sableux à dix mètres environ du rivage et s'étendent jusqu'à une profondeur de dix mètres au-dessous du niveau des eaux. Les amas stratifiés qu'ils forment atteignent rarement 0^m,50 de puissance.

Il commence par se déposer une boue ocreuse, grise, noire, brune ou verdâtre, renfermant beaucoup de silice gélatineuse. En durcissant,

ces ocres se concrétionnent souvent en petites boules ou en lentilles aplaties formant ainsi des masses analogues aux hématites brunes terreuses. Les minerais contiennent toujours une certaine quantité de phosphore provenant des plantes. On admet, dans la formation, le rôle de bactéries ⁽¹⁾, qui, avec l'ammoniaque des eaux tourbeuses, ont pu contribuer à précipiter le fer renfermé dans l'eau en solutions étendues et emprunté par les acides organiques ou minéraux aux terrains superficiels du voisinage. Le dépôt à l'abri de l'air au contact de restes organiques réducteurs peut se faire sous la forme carbonatée.

En dehors de ces phénomènes de dépôt, un grand nombre de réactions chimiques incessamment renouvelées, qui constituent ce que j'ai appelé ailleurs la *géologie en action* ⁽²⁾, ont pour résultat de transformer, de métamorphiser les minerais une première fois produits, en les faisant passer par une série de cycles, dont le fer, si facile à remettre en mouvement, donne les exemples les plus caractéristiques. Dans ces réactions, interviennent : des agents physiques,

(1) Ce rôle était attribué par Ehrenberg à des algues. Pour Winogradsky, ces prétendues algues sont des bactéries filiformes.

(2) L. DE LAUNAY. — *La Science Géologique*. Ch. X, p. 291.

tels que la chaleur et la pression ; des agents chimiques ordinairement très simples (oxygène, eau, acide carbonique, matières carburées réductrices, sulfates, chlorures, nitrates) ; enfin des agents organiques, qui déterminent, sur certains points, la fixation, la concentration d'éléments tout d'abord dissous (carbonate de chaux, phosphate de chaux, silice, etc.).

En moyenne, le métamorphisme a pour résultat de remplacer un équilibre moléculaire provisoire par un équilibre plus stable en mettant de plus en plus l'énergie sous la forme calorifique. Toutes les fois que de la chaleur extérieure n'est pas apportée par une circonstance quelconque et notamment par le dynamisme, il tend donc à se former des sels qui dégagent des calories en se formant plutôt que des sels qui en absorbent et les oxydations l'emportent sur les réductions, qui ne sont jamais définitives. Cependant des réactions inverses, telles que les réductions auxquelles je viens de faire allusion, peuvent se réaliser à titre provisoire (dépôt de sulfures ou de métaux natifs sur des matières organiques, sur des outils de fer, etc.). En même temps, il y a tendance constante à la cristallisation et à l'élimination des formes organiques que les minéraux ou minerais ont pu d'abord contenir.

La plupart des phénomènes actuels qui rentrent dans cette « géologie en action » seront étudiés plus

loin, dans le § 10 consacré aux altérations superficielles. Nous verrons alors comment la pyrite de fer se transforme, soit directement en hématite brune au contact des eaux superficielles oxydantes (chapeaux de fer des filons), soit d'abord en sidérose si un milieu calcaire intervient à l'abri du contact de l'air : la sidérose étant à son tour altérée superficiellement en sesquioxyde. D'autre part, l'hématite brune, conservée à l'abri de l'air, donne peu à peu de l'hématite rouge, même à la température ordinaire, et sa calcination produit de la magnétite. Enfin, l'oligiste chauffé sous pression en présence d'un hydrocarbure donne de la magnétite (1). Ces transformations expliquent les modifications que l'on observe en s'enfonçant dans certains gîtes de fer (hématite de Bilbao passant à la sidérose, oligiste de l'île d'Elbe passant à la pyrité, etc.). Elles font comprendre également pourquoi il existe une certaine relation entre l'âge d'un gisement de fer et sa nature minéralogique : magnétite ou oligiste dans les terrains anciens métamorphiques ; carbonate dans le carbonifère ; hématite rouge dans le permien, le trias et le jurassique ; hématite brune dans les terrains récents.

(1) L. DE L'UNAY. — *C. R. de l'Ac. des Sc.*, 11 février 1903.

J'ai montré comment la teneur en phosphore d'un minerai de fer était en relation directe avec ces phénomènes et comment, par suite, en connaissant les caractères géologiques d'un gîte ferrugineux, on peut prévoir s'il sera ou non phosphoreux (1).

9. Dépôts métalliques dans les grottes, travaux de mines, etc. — Le phénomène des grottes est un phénomène restreint et à peu près localisé dans les terrains calcaires au voisinage de la surface. Son rôle dans les dépôts primitifs de minerais me paraît donc, quoi qu'on en ait dit, à peu près nul. Il est, au contraire, important dans les altérations, concentrations et remises en mouvement superficielles et l'on a pu songer à le faire intervenir de cette façon dans la formation d'un grand nombre de gîtes, soit minéraux (phosphorites du Quercy), soit métallifères (fer en grains, calamine, galène et carbonate de plomb).

La circulation des eaux souterraines chargées d'acide carbonique, qui produisent les grottes en élargissant les diaclases des calcaires (2), détermine, en même temps, le déplacement, la remise en mouvement des minerais qui peuvent se trouver sur leur trajet et ces minerais se redé-

(1) L. DE LAUNAY. — *C. R. de l'Ac. des Sc.*, 25 janvier 1904.

(2) E.-A. MARTÉL. — *Les Abîmes*. Delagrave.

posent à l'état de sels oxydés dans les vides naturels, comme ils l'ont fait ailleurs dans les vides artificiels des travaux de mine. La présence accidentelle de matières organiques amène parfois leur réduction et l'on voit, de cette manière, se produire des dépôts tout à fait récents et secondaires de substances insolubles, qui ont donné lieu aux théories les plus erronées et aux généralisations les plus inexactes quand on a voulu les considérer comme des gîtes primitifs. Dans le cas des mines anciennes, qui est particulièrement net, il est arrivé de trouver, sur des boisages ou sur des outils de fer, de la blende, de la galène, de la pyrite, des sulfures de cuivre, du cuivre natif, ou ailleurs, à la voûte de vieilles galeries abandonnées, de la cérusite, de la calamine, de la malachite, de la fluorine.

Les anciennes mines de mercure manifestent des formations secondaires de cinabre tout particulièrement caractéristiques. La précipitation de pyrite de fer dans des vases organiques, et spécialement sur des débris végétaux ou animaux, est également un phénomène qui se reproduit sans cesse sous nos yeux.

10. Altération superficielle des minerais. Considération du niveau hydrostatique. Zones d'oxydation et de cimentation. Cas des sulfures de plomb, zinc et fer en terrain calcaire. Minerais d'or et d'argent. — Les

minerais, que nous rencontrons dans un grand nombre de gisements et surtout dans la zone superficielle des gisements, ont fréquemment pris une forme toute différente de celle qu'ils ont affectée tout d'abord au moment du dépôt originel et de celle qu'ils conservent encore en profondeur. Il s'est formé, dans cette zone superficielle que je vais bientôt essayer de définir, des gisements d'altération d'un type tout spécial et souvent d'une très grande importance pratique. Les confusions, que l'on a faites, dans bien des cas, entre ces gîtes secondaires dus à une « remise en mouvement » et les gisements primitifs, ont beaucoup influé sur certaines théories inexactes (sécrétion latérale, etc.), auxquelles j'ai déjà fait plus d'une allusion. En outre, la connaissance des lois précises, auxquelles ces altérations sont soumises, a cet intérêt capital de nous annoncer, d'après le caractère des affleurements, les modifications que de nombreux gisements peuvent subir en profondeur ; il faut donc tout au moins indiquer les éléments principaux de cette question sur laquelle nous reviendrons au Chap. VII (1).

(1) Voir, pour plus de détails : L. DE LAUNAY. — *Contribution à l'étude des gîtes métallifères*, Dunod 1897 ; — *Variation des filons métallifères en profondeur*. Rev. génér. des Sciences, 30 avril 1900 ; — *Les Richesses minérales de l'Afrique*, 1903 ; — *La Science géologique*, Ch. X et XIV.

La zone, que je viens d'appeler superficielle et qui peut descendre très profondément dans les régions accidentées, est définie par la considération du *niveau hydrostatique*, auquel elle est à peu près limitée. Ce niveau hydrostatique sépare la portion du terrain susceptible d'être asséchée, où circulent les eaux de surface destinées à alimenter nos sources habituelles de la portion plus profonde, à imprégnation d'eau permanente, où les mouvements des eaux souterraines sont très lents et où ces eaux se trouvent vite dépouillées des principes actifs, tels que l'oxygène ou l'acide carbonique, qu'elles ont pu apporter de la superficie. Au-dessous de ce niveau, les minerais sont donc inaltérés, ou tout au plus ont-ils pu subir, sur une faible épaisseur, dans leurs parties hautes, une concentration due à des dissolutions descendues suivant le plan même du filon. Au-dessus, au contraire, leur altération est plus ou moins complète suivant que les réactions altérantes ont eu plus ou moins de temps pour se produire ; mais elle a toujours au moins une tendance à commencer.

Cette zone d'altération elle-même peut se subdiviser en deux parties bien distinctes : la zone tout à fait supérieure, à grand excès d'oxygène, caractérisée par la peroxydation du fer amenant une rubéfaction et dite *zone d'oxydation* ; puis la zone dite *de cémentation* à réactions

chimiques plus complexes, ordinairement marquée, comme nous allons le voir, par un enrichissement en métaux précieux. C'est au-dessous que commence la troisième zone profonde, où les minerais sont restés inaltérés.

J'ajoute aussitôt que ces phénomènes d'altération, le plus ordinairement caractéristiques de la période géologique actuelle, ont pu également se produire pendant des périodes d'émersion anciennes et avoir été exceptionnellement protégés contre l'érosion, donc conservés, par l'enfoncement d'un compartiment terrestre déjà altéré, qui s'est trouvé ensuite encastré entre deux autres voussoirs et garanti contre l'érosion. Cette remarque explique diverses anomalies apparentes à la loi générale énoncée plus haut.

L'altération des gîtes métallifères, toujours intéressante à envisager pour un gîte quelconque, le devient tout spécialement quand ce gîte s'est trouvé en contact avec un milieu calcaire. La présence d'un tel milieu introduit, en effet, dans l'évolution, des termes intermédiaires et facilite les réactions, d'autant plus que les calcaires, souvent très fissurés, activent généralement l'infiltration des eaux.

On peut rattacher à cet ordre d'idées tous les gîtes de calamine, de cérusite et de carbonate de manganèse, ainsi qu'un très grand nombre

d'amas de sidérose, dus à une venue filonienne au milieu de calcaires : c'est-à-dire que ces phénomènes d'altération, où nous voyons une action superficielle dans le sens indiqué plus haut, expliquent la plupart des cas de substitution ou de métasomatisme, souvent envisagés comme ayant accompagné la venue première des eaux métallisantes filoniennes.

Il se produit, dans ces réactions, une opération de métallurgie naturelle, qui a pour effet de concentrer ou de séparer les métaux en faisant surtout intervenir les différences de solubilité de leurs sulfates ou de leurs carbonates. Ainsi, dans le cas très ordinaire où le remplissage profond est un mélange des sulfures de fer, cuivre, zinc et plomb, si l'on est en milieu inerte, on aura : 1° à la surface, formation de sesquioxyde de fer (chapeau de fer des mineurs, avec appauvrissement en cuivre (zone d'oxydation) ; puis 2° concentration locale du cuivre (cuivre gris, chalcosine, phillipsite, etc.), parfois avec sidérose (zone de cémentation) ; enfin 3° sulfures inaltérés. En milieu calcaire, on débutera par le même peroxyde de fer accompagnant de la calamine et donnant des calamines rouges, parfois avec azurite et malachite ; puis viendra la calamine blanche, pouvant être accompagnée de sidérose et de minerais riches de cuivre ; enfin on arrivera aux sulfures inaltérés. La galène, peu altérable,

persiste, en général, dans ce cas, du haut en bas des trois zones, sauf tout à fait aux affleurements. Parfois cependant, elle a été transformée en cérusite.

La zone de cémentation est ainsi, comme nous le verrons plus en détail au Chap. VII, une zone d'enrichissement pour les minerais de cuivre ; le même fait se reproduit pour l'or et pour l'argent.

L'*or*, par exemple, peut être associé en profondeur à des sulfures, séléniures, tellurures, arséniures ou antimoniures. Le plus habituellement, on l'y trouve avec de la pyrite, du mispickel, de la chalcopryrite. On a donc, à la surface, de l'hématite, parfois légèrement arsénicale, à or libre, qui, en milieu inerte, passe directement au sulfure profond, ou, en milieu calcaire, y arrive par la transition de la sidérose. La zone de cémentation est marquée par un enrichissement en or.

De même, l'*argent* est, en profondeur, le plus souvent associé avec de la galène, parfois avec des chalcopryrites ou des blends. La zone d'oxydation présente, avec des oxydes de fer et de manganèse, parfois avec des oxydes et carbonates de cuivre, de l'oxyde d'argent, de l'argent natif, des chlorures et bromures d'argent. Puis, dans la zone de cémentation, l'argent est à l'état d'argent rouge ou d'argent noir, de cuivre gris argentifère, etc., avec accroissement très notable

de la teneur en argent. Plus bas, les sulfures inaltérés donnent ensuite un minerai plus pauvre.

11. Mode de cristallisation naturelle ou artificielle des minerais ou des gangues filoniennes. Méthodes de synthèse. — J'ai cité plus haut, à l'occasion des sources thermales, quelques exemples de formation de minerais métallifères dans des eaux chaudes chargées de sulfates et chlorures alcalins, agissant pendant un temps très prolongé, à la pression ordinaire. Même à la température habituelle, on connaît un grand nombre de cas, où de semblables cristallisations se produisent lentement sous l'influence de dissolutions très diluées. Dans cet ordre d'idées, nous venons de voir les dépôts de fer des marais, les stalactites de galène, céruse, blende, calamine, sulfure de cuivre, etc., les pyritisations de fossiles, etc. Les fossiles, par suite de l'action de concentration et de précipitation qu'ils ont ainsi exercée, ont fourni des exemples de très nombreuses minéralisations. Les plus fréquentes sont le quartz, le jaspe, la calcédoine, l'opale et la pyrite : mais on a trouvé, en outre, la sidérose, la céruse, la calamine, la limonite, la barytine, la célestine, le gypse, la fluorine, la vivianite, la wulfénite, le cuivre natif, la blende, la galène, la chalcoppyrite, la phillipsite, le cinabre, etc. Remarquons encore que, non seulement la calcite (ce qui est bien

connu), mais le quartz même, peuvent cristalliser sous nos yeux à la température et à la pression ordinaire : il suffit de citer les cristaux de quartz implantés dans les stries glaciaires des gorges du Trient.

Cependant, un très grand nombre de minéraux échappent à ces réactions très simples et, pour expliquer leur mode de formation en les reproduisant artificiellement, on a été obligé de faire intervenir des méthodes plus complexes, dont voici les résultats les plus généraux (1).

Parmi les minéraux filoniens, il est quelques familles naturelles, formées d'éléments presque toujours associés, pour lesquels il est intéressant de constater que le même procédé de synthèse réussit : ainsi, dans les filons d'étain, la cassitérite, le quartz, l'apatite, le mica fluoré, la topaze, l'émeraude, le mispickel, les minéraux du bismuth et de l'urane, parfois la tourmaline ; dans les filons de plomb, les sulfures de plomb, zinc et fer, avec le quartz, la barytine, la calcite, etc. Dans le premier cas, on est conduit à admettre l'intervention des minéralisateurs chlorurés ou fluorurés sur des dissolutions soumises à de hautes pressions (les sulfures et carbures ne jouant, quoique présents, qu'un rôle accessoire,

(2) FOUQUÉ et MICHEL LÉVY. — *Synthèse des minéraux et des roches*. Cf. 1882 ; L. DE LAUNAY. — *La Science géologique*, 1905, p. 134.

comme ils le font dans les fumerolles les plus chaudes issues des laves); dans le second cas, les sulfures dominent au contraire et l'intervention de carbonates ou sulfures alcalins suffit pour réaliser la synthèse : même la fluorine, qu'on rencontre parfois dans ces gisements, peut, comme l'a montré Sénarmont, cristalliser par l'action du bicarbonate de soude sur le fluorure de calcium amorphe.

Cette observation, jointe à la postériorité possible, dans une région déterminée, des filons de plomb aux filons d'étain, nous amènera à supposer que les premiers résultent de fumerolles plus refroidies, plus éloignées de leur centre d'émission et, par suite, dépouillées de leurs chlorures. Comme confirmation, nous montrerons que, tandis que les filons d'étain sont toujours localisés au voisinage de leur roche mère, qui est la granulite, elle-même cristallisée en profondeur et sous pression, les dépôts de plomb ont pu être apportés très loin de la roche mère (microgranulite, porphyre pétrosiliceux, etc.) : roche, de son côté, venue en intrusion jusqu'au voisinage de la superficie.

Dans les deux cas, il est, d'ailleurs, à peine besoin de répéter que l'eau souterraine est intervenue pour recueillir les fumerolles et permettre la cristallisation.

12. Dépôts d'alluvions. — Les dépôts d'alluvions obéissent à certaines lois, qu'il est indispensable de connaître pour comprendre la formation des placers aurifères, des gisements de platine, d'étain, de diamant et peut-être de certains sédiments, où la présence du cuivre ou du plomb semble le résultat d'une semblable action détritique. Le phénomène, dans son ensemble, correspond à une préparation mécanique qui aboutit à classer les éléments d'après leur dureté et leur densité : préparation effectuée dans des conditions spéciales qu'ont fait connaître l'expérimentation ou l'examen des alluvions actuellement formées.

En ce qui concerne la dureté, on constate, par l'étude des galets recueillis sur divers points d'un courant torrentiel, que la destruction des éléments charriés est très rapide : les galets de quelque grosseur proviennent toujours d'une région voisine et une prompte sélection ne laisse bientôt subsister que les roches les plus dures, telles que le quartz. Parmi les matériaux le plus rapidement éliminés à l'état de fine poussière, il faut signaler les sulfures métalliques, dont la densité amène, en outre, le dépôt à peu de distance de leur origine. Au contraire, les gemmes dures, telles que le diamant, le rubis, le zircon, le grenat, etc. subissent un enrichissement relatif. Cette action de la densité réalise en principe

un classement méthodique, analogue à celui que nous cherchons à produire dans nos usines. Des minerais tels que l'or, le platine, la cassitérite, la magnétite, se trouvent ainsi concentrés dans des conditions que l'expérience de nos ateliers industriels permet de prévoir, non loin des roches ou filons dont la destruction les fournit et d'ordinaire, à la base du dépôt alluvionnaire, sur le fond du cours d'eau, dont les aspérités les retiennent.

13. Procédés d'étude des gîtes métallifères. Examen stratigraphique, pétrographique et chimique des roches et terrains avoisinants. — L'étude d'un gîte métallifère ne comprend pas seulement, si l'on veut arriver à se faire une idée de son mode de formation, l'examen de ce gîte lui-même obtenu par les travaux de mines ; elle doit, en outre, porter sur toute la géologie de la région avoisinante, et envisager à la fois les phénomènes mécaniques dont elle porte l'empreinte, les roches éruptives qui l'ont traversée, le métamorphisme et le degré d'érosion qu'elle a subis. Pour les phénomènes mécaniques, on se rapportera au Chap. V. L'examen des roches éruptives se fait : 1° par la pétrographie, 2° par la chimie.

En ce qui concerne la pétrographie, il suffira de remarquer que les roches, au voisinage des gîtes, sont, en général, profondément altérées,

métamorphisées, presque méconnaissables, et que le processus de leur altération est souvent un point important à examiner ; car ce métamorphisme a pu intervenir, sinon, comme on l'a dit, dans la formation primitive du gîte, au moins dans sa disposition actuelle, telle qu'elle résulte des altérations superficielles, dont les roches encaissantes, comme le gîte lui-même, portent la trace.

Quant à l'analyse chimique, elle a été invoquée (peut-être avec un excès de confiance), pour préciser la relation d'origine entre les roches éruptives et les gîtes métallifères, depuis longtemps annoncée par Élie de Beaumont.

Lorsqu'il s'agit de dépôts hydrothermaux, les résultats obtenus dans cette voie demeurent souvent problématiques et il ne semble pas qu'on soit arrivé, comme on l'espérait, à démontrer directement par l'analyse que tel gîte sulfuré de plomb, de zinc ou d'argent provient de telle roche éruptive, où l'on retrouve, à l'état d'inclusions, le même métal. Mais, pour les ségrégations ignées et les inclusions, la relation, comme nous le verrons plus tard, est tout à fait nette. En ce qui concerne l'origine des dépôts hydrothermaux, quelques observations intéressantes sont également à retenir ; elles portent, d'ailleurs, sur les substances minérales encore plus que sur les minerais.

Ainsi Sandberger a affirmé avoir constaté la fréquence spéciale des filons barytiques dans un gneiss de la Forêt-Noire dont le feldspath, très facilement altérable, renferme jusqu'à 0,81 % de baryte ; suivant lui, ils le sont un peu moins dans le granite non porphyroïde, où le feldspath n'en contient que 0,22 et ils disparaissent dans le granite porphyroïde non barytique.

De même, on a dit que, dans les gneiss du Spessart et de Wittichen ⁽¹⁾, les micas contenant du cobalt, de l'arsenic, du cuivre, du bismuth et pas de plomb, les filons voisins renferment smaltine, cuivre gris, chalcopryrite et pas de galène ; au contraire, le gneiss de Schapbach ⁽²⁾, où le mica est plombifère, est traversé par des filons de galène.

En Amérique, à Leadville, où le gîte plombifère est concentré au-dessous d'une couche de microgranulite (porphyre blanc), cette roche renferme, d'après Emmons, des traces de plomb et argent dans ses feldspaths (0,00006 d'argent), un peu de baryte (0,03 à 0,09) et de strontiane. Le zinc, qui fait défaut dans le gîte, manque également dans la roche.

Au Comstock, d'après Becker, l'augite des diabases renfermerait toujours une proportion

(1) *Berg und Hüt. Zeit.*, 1877, p. 892.

(2) A. KILLING. — *Neues Jahrb. f. Miner.*, 1878, p. 657.

notable de métaux précieux, proportion qui se trouve réduite à moitié lorsque la roche est décomposée, comme c'est le cas au voisinage du filon.

Mais il faut ajouter aussitôt que plusieurs de ces affirmations ont été contestées et, même en les tenant pour exactes, la dernière observation relative au Comstock me semble en indiquer le caractère réel, tout différent de celui que leur ont attribué leurs auteurs. Le métamorphisme au contact d'un filon est, en effet, pour nous, un phénomène ordinairement superficiel et récent, bientôt interrompu en profondeur et qui n'a joué aucun rôle dans le remplissage originel de celui-ci. Une théorie, qu'il est devenu inutile de discuter parce qu'elle n'a plus guère de défenseur, avait prétendu attribuer inversement le remplissage de tous ces gîtes, que nous qualifions de dépôts hydrothermaux, à un lessivage superficiel des inclusions métallifères retenues par les roches éruptives. C'était méconnaître tous les phénomènes sur lesquels nous nous sommes appuyés pour soutenir leur origine profonde, en confondant avec les gîtes primitifs les gîtes d'altération secondaire, qui pouvaient induire en erreur lorsqu'on les observait seuls, mais qui, en réalité, n'existent avec quelque développement, sauf pour les substances tout à fait banales dans les terrains, comme le fer, le manganèse, le

calcium, le magnésium, le baryum, etc., que lorsqu'il a été produit d'abord, par un phénomène de caractère tout différent, une concentration métallifère d'origine profonde.

CHAPITRE IV

GÎTES D'INCLUSION ET DE SÉGRÉGATION IGNÉE DANS LES ROCHES CRISTALLINES. GÎTES DE CONTACT OU DE DEPART IMMÉDIAT.

14. Inclusions. — Les inclusions représentent, comme nous l'avons vu, le cas où les minerais font partie intégrante d'une roche au même titre que les autres minéraux quelconques ; tous les minéraux d'une roche rentrent donc, à la rigueur, dans notre définition des inclusions comme minerais de fer, de magnésium, de calcium, d'aluminium, etc. ; mais nous nous attacherons seulement à quelques métaux proprement dits, qui peuvent se trouver, dans ces conditions, en quantités assez sensibles pour être parfois exploitables.

Les métaux des inclusions sont souvent ceux qui n'ont pas pu être entraînés par les éléments

volatils, parfois ceux qui, partis à l'état de chlorures, ont dû être immédiatement reprécipités par la vapeur d'eau, accessoirement quelques sulfures. On y trouve l'or, le platine, la magnétite, l'oligiste, le fer chromé, le fer titané, la cassitérite, la pyrite, la chalcopyrite, la pyrrhotine nickélifère.

Il peut y avoir des inclusions dans les roches acides comme dans les roches basiques ; elles ne sont pas du même ordre ; les premières accusent généralement la présence d'un chlorure et d'oxydants en excès (cassitérite, oligiste, or natif) ; les secondes témoignent d'une atmosphère réductrice, où les oxydes sont restés incomplets et conduisent directement aux gîtes de ségrégation.

15. Ségrégations et gîtes de départ immédiat. — Les ségrégations correspondent, dans la cristallisation des roches ignées, à des cas particuliers, où s'est opérée, pour certains éléments métalliques, une concentration spéciale, une différenciation, une liquation, qui a pu se produire également pour tout autre minéral, silicate ou quartz, mais à laquelle nous n'attachons un intérêt pratique que lorsqu'elle a porté sur une substance utilisable.

En moyenne, les gîtes de ségrégation ignée paraissent constituer de préférence un type de profondeur, c'est-à-dire un type, dont la pro-

fondeur originelle a facilité la réalisation, sans qu'il faille attribuer le moins du monde à cette notion un caractère exclusif. Tous les cas un peu importants de ce phénomène ont été observés sur des roches basiques et les métaux, qui se sont ainsi concentrés, appartiennent à un groupe très spécial et parfaitement défini, comprenant le fer, le nickel, le cobalt, le chrome, le manganèse, le titane et le vanadium. On trouve, dans ces conditions, les magnétites titanifères de Scandinavie et de l'Amérique du Nord dans des gabbros passant à des anorthosites, les fers chromés ou les silicates de nickel dans des péridotites. La différenciation des composés oxydés formés par ces métaux n'est pas un simple résultat de liquation tranquille en vase clos ; il est infiniment probable qu'elle a dû être facilitée par la présence de la vapeur d'eau et de quelques métalloïdes, tels que le soufre.

Avec une abondance plus grande de ce dernier élément, le type des ségrégations oxydées opérées au cœur de la masse rocheuse passe à un type de ségrégations sulfurées, réalisées à la périphérie de cette masse, qui lui-même nous conduit, par des transitions insensibles, à des *gîtes de contact*, dont les pyrrhotines cuprifères et nickelifères fournissent les cas les plus nets : gîtes de caractère déjà hydrothermal et, par conséquent, très voisins des gîtes filoniens proprement dits, qui

seront étudiés ultérieurement. Dans de tels gîtes de contact, on peut trouver l'association de la chalcoppyrite avec la magnétite, qui accuse le rapprochement indiqué plus haut avec les ségrégations ; on y exploite également des pyrites ou chalcoppyrites aurifères.

En pendant avec un tel départ basique, qui est si manifeste pour le cuivre et le nickel, on peut placer le *départ acide* également caractérisé, qui est visible pour les gîtes d'étain, ou parfois d'or, et qu'il y a intérêt à mentionner ici à cause de ce parallélisme, bien qu'il constitue déjà, à proprement parler, des gîtes d'incrustation hydrothermale. Dans les deux cas, la relation d'origine entre le gîte métallifère et la roche éruptive, qui devient parfois problématique pour les dépôts d'incrustation hydrothermale proprement dite à sulfures de zinc ou de plomb, demeure presque aussi manifeste que pour les ségrégations ou les inclusions, et de tels gisements nous conduisent insensiblement à considérer cette relation d'origine comme également assurée pour les filons hydrothermaux les plus caractérisés.

Parmi les gîtes de ségrégation, dont nous venons d'indiquer le principe, les *minerais de fer titanifères* (titano-magnétites et ilménites) représentent un cas important et bien étudié. Le point de départ est un magma complexe, où les silicates basiques commencent par être dissous

dans les silicates alcalins. Peu à peu, il y a tendance à la séparation de deux roches, qui, finalement, peuvent aboutir : d'une part, au périclase (silicate magnésien) ; de l'autre, à des roches d'anorthose ou de labrador (silicate aluminocalcaire). Le départ du chrome, du platine, du nickel et du cobalt se fait du côté périclase ; le titane va, au contraire, avec le plagioclase et l'on peut arriver, dans des roches exclusivement formées de labrador ou d'anorthose, à des teneurs de 40 % d'acide titanique sous la forme d'ilménite. Quand on suit, par l'analyse chimique, le progrès de la concentration, on voit que le rapport du titane au fer part de 1 à 15 dans une roche ordinaire pour atteindre 1 à 10 dans le gabbro et 1 à 5 dans le fer titané. Le vanadium se concentre avec le titane.

Les *pyrrhotines nickélifères* ou *cuprifères* forment des amas de contact en relation immédiate avec les gabbros, dont elles dérivent immédiatement et, d'après M. Vogt, il y a une relation constante entre la dimension du massif de gabbro et celle de l'amas métallifère, en même temps que les proportions relatives des trois métaux, fer, cuivre, nickel, restent comprises dans des limites assez étroites. Ailleurs, comme en Nouvelle-Calédonie, la forme primitive est une périclase nickélifère (gîte d'inclusion) renfermant également du manganèse et du

cobalt ; l'altération superficielle donne alors des concentrations exploitables de ces trois métaux, en accroissant la proportion relative du cobalt par rapport au nickel, du manganèse par rapport au fer.

Comme gîtes de départ acide, je viens de mentionner les gisements d'étain et d'or, dont les formes industrielles passent, pour la plupart, au type étudié plus loin des dépôts hydrothermaux.

L'*étain* est un métal, qui peut se trouver, à l'état d'inclusions proprement dites, tout à fait disséminé dans la roche granitique dont nous le croyons dérivé, ou encore concentré dans la zone périphérique d'un tel massif rocheux, sous un couvercle de schistes qui le recouvrait, dans des conditions où l'abondance des éléments volatils émanés de la roche se traduit par de multiples caractères. On le rencontre encore localisé dans des fissures de retrait, ou des réseaux de fractures, constituant les stockwerks. Plus rarement, il s'isole en grands filons proprement dits au voisinage encore des granites, mais en dehors d'eux, comme on le constate dans le Cornwall. Il est à remarquer que, dans ce cas spécial, où le départ des minéralisateurs a dû être plus accentué puisqu'on est plus loin de la roche-mère, on observe, en même temps, une abondance spéciale de sulfures associés avec la cassitérite, dont

nous attribuons la formation à des fumerolles chlorurées ou fluorées. Ces filons de cassitérite du Cornwall sont également des filons de chalcopyrite et de mispickel. Le départ plus complet et la cristallisation dans de larges fissures continues ont donné là de grands filons stannifères, dont on ne retrouve guère l'équivalent ailleurs.

D'une façon tout à fait générale, l'étain est associé, dans ses gisements, avec une série de minéraux qui lui forment une auréole caractéristique. Ce sont, d'abord, les minerais de tungstène, bismuth, molybdène et or, en relation comme lui avec les granites à mica blanc, puis les minéraux qui font partie intégrante de ces granites eux-mêmes, comme l'apatite ou les autres phosphates (d'alumine, de lithine, etc.), la topaze, l'émeraude, la tourmaline, les micas lithinifères.

L'or présente de très grandes analogies de gisement : soit avec le cuivre, quand il accompagne les départs de sulfures basiques, soit avec l'étain quand il apparaît localisé à la périphérie des roches acides. Dans le premier cas, il s'est précipité en mélange ou en association avec des sulfures. Dans le second, il peut être à l'état natif ou combiné avec des tellures, parfois accompagnés de fluorine ; il est alors souvent associé avec un quartz analogue à celui des filons

d'étain et nombre de gisements stannifères (par exemple, dans le Plateau central) renferment des traces d'or susceptibles de se concentrer dans les alluvions, de même que certains filons aurifères peuvent contenir de la cassitérite.

CHAPITRE V

GÎTES DE DÉPÔT HYDROTHERMAL. ÉTUDE DE LA CAVITÉ REMPLIE

16. L'étude d'un gîte filonien incrusté par un dépôt hydrothermal comprend, comme je l'ai annoncé, deux parties : l'examen de la cavité remplie et celui de son remplissage. Ce chapitre sera uniquement consacré au premier ordre de faits ; dans le suivant, nous nous occuperons du second.

Rappelons d'abord quelques définitions :

Une fracture du sol, que son incrustation par les eaux métallifères a transformée en *filon*, est déterminée : 1° par sa *direction*, c'est-à-dire par l'orientation de son horizontale, comptée dans le sens des aiguilles d'une montre, le cadran étant divisé, soit en degrés, soit (dans les usages anciens) en 12 heures ; 2° par son *inclinaison* ou *pendage*, c'est-à-dire par l'angle que fait sa ligne de plus grande pente avec l'horizontale. Les parois de roches stériles qui l'encaissent sont ses

épointes : la supérieure étant dite *toit* ; l'inférieure, *mur*. L'épaisseur d'un filon, comptée perpendiculairement d'une éponte à l'autre, est sa *puissance*. On appelle *salbandes* des couches argileuses ou détritiques qui séparent quelquefois le remplissage des épontes.

Un filon n'est pas toujours simple ; il peut se bifurquer, se ramifier en plusieurs *veines*, qui se rejoignent ensuite. Lorsque le réseau des veines devient très compliqué, on a un *stockwerk*. La fissure, dont la forme est quelconque, peut ailleurs avoir pris une disposition lenticulaire et constitue alors un *amas filonien*.

Un ensemble de filons donne un *champ de fractures*, où divers phénomènes mécaniques simultanés ou successifs ont pu influencer les uns sur les autres. Ces champs de fractures, souvent dus à des phénomènes de torsion, sont particulièrement concentrés dans les régions de terrains primitifs, depuis longtemps consolidées et ayant pu subir une succession d'efforts légèrement discordants. Les bords des horsts ou massifs surélevés, ceux des bassins d'effondrement, les zones de dislocation tabulaire et, accessoirement, les zones latérales de certains grands plissements réguliers, sont, au contraire, caractérisées par des filons prolongés et parallèles.

Enfin, il peut arriver que l'action incrustante des eaux ait porté sur des couches perméables,

qu'elles ont imprégnées, ou sur des couches attaquables, auxquelles elles ont substitué des minerais : substitution surtout réalisée ou accentuée dans les altérations superficielles ⁽¹⁾. Nous étudierons, tour à tour, les fractures simples, les stockwerks, les champs de fractures, les amas filoniens et les gîtes d'imprégnation.

L'étude des fractures simples comprendra elle-même plusieurs paragraphes :

1° Origine de la fracture (plissement, torsion, effondrement, retrait) ;

2° Influence mécanique de la roche encaissante sur la disposition de la fracture ;

3° Formes principales des fractures ; variations et arrêts en direction ou en inclinaison, etc. ;

4° Remplissages bréchiformes ou argileux. Salbandes ;

5° Accidents mécaniques contemporains du remplissage ou postérieurs. Minerais bréchoïdes. Déviations amenées par d'autres filons ou failles ;

6° Détermination de l'âge d'une fracture (distinct, au moins en principe, de l'âge du remplissage).

17. Origine des fractures filoniennes (plissement, torsion, effondrement, retrait). — Toute fracture profonde du sol ayant

(1) Voir §§ 28 et 38.

pu donner passage à des eaux filonienues, ce que nous avons à dire ici rentre dans les lois de la géologie générale.

Les fractures peuvent être de trois ordres principaux : ou elles résultent directement de mouvements verticaux ; ou elles sont produites par des mouvements horizontaux ; ou enfin elles procèdent du retrait intérieur dû au refroidissement d'une roche ignée et de la fissuration locale d'un terrain par diaclases.

La contraction lente du noyau terrestre, par l'effet de sa consolidation progressive, a pour résultat d'amener des dénivellations relatives de compartiments ou vousoirs voisins, et des plissements dans l'écorce qui continue à s'appuyer sur lui. Ce sont ces deux catégories d'accidents mécaniques, qui produisent les saillies orographiques de la surface terrestre et les principales fissures où se forment des filons.

Les travaux qui ont créé la branche spéciale de la géologie appelée la tectonique ou l'orogénie, ont paru montrer qu'une chaîne de montagnes pouvait, dans son ensemble, être comparée aux épis d'une gerbe fortement serrée en son milieu, avec charriage latéral et déplacement horizontal de masses, ayant pu d'abord subir un complet renversement. Au centre, on rencontre surtout des accidents parallèles à la stratification, des étirements de plis, qui ont pu supprimer

des assises entières mais qui n'ont guère laissé de vides pour les filons. Dans les zones extérieures, des fractures, résultant du plissement poussé à l'extrême, se sont produites parallèlement à la direction des plis et des couches, avec failles inverses (glissements de bas en haut) et ces failles, parfois presque horizontales, s'effacent peu à peu en passant par une zone amincie et étirée; latéralement, on a les « nappes de charriage », les « écailles arrachées », les « lambeaux de poussée ». Enfin, c'est en dehors des régions plissées, dans les plaines ou grands plateaux, et sur le bord ou dans le cœur même des massifs anciens, constituant ce qu'on a appelé les avant-pays, que se montrent les véritables failles, les déplacements verticaux.

Les grands filons prolongés et continus, de direction générale parallèle à celle de la chaîne, semblent se rencontrer habituellement dans les zones extérieures dilatées plutôt que dans les parties centrales comprimées. Leur type paraît être, dans une certaine mesure, en relation avec la profondeur atteinte par l'érosion : fractures plus éparpillées dans les parties hautes, plus localisées et plus continues à une certaine profondeur.

On peut trouver également des filons parallèles dans les zones tabulaires effondrées ou soulevées par échelons et, quelquefois, les « décrochements »

transversaux, qui se sont produits dans certains faisceaux de plis, constituent eux aussi de semblables filons très prolongés, ayant tous la même direction.

Ailleurs, la présence de noyaux solides antérieurs intercalés dans un plissement, celle de massifs anciens, plissés auparavant dans un autre sens et soumis à un nouvel effort oblique sur le premier, introduit des systèmes de fractures plus compliqués, assimilés, d'après une expérience classique de Daubrée, à ceux que produit la torsion d'une vitre. Un caractère fréquent de toutes les fissurations, quelle qu'en soit l'origine, est l'existence de cassures secondaires orthogonales sur la direction prédominante. On observe aussi, pour les plissements, des accidents orthogonaux analogues.

Les mêmes fractures profondes, qui ont pu donner passage à des eaux filoniennes, ont pu également donner issue à des intrusions de roches éruptives, dont nous avons déjà reconnu, d'une façon générale, la relation d'origine avec les incrustations de minerais.

Accessoirement, d'autres fractures filoniennes peuvent être dues au *retrait* ou résulter de simples dislocations locales dans une roche ou un terrain limité (*diaclasses* de Daubrée). Celles-là sont d'une nature toute différente des précédentes.

Lorsqu'une roche fondue se solidifie, il s'y produit fréquemment des cassures réticulées, rigoureusement limitées à la roche elle-même et ces cassures, particulièrement développées dans certains trachytes, mais aussi dans d'autres roches (granite, granulite), ont pu être remplies par une exsudation directe de la roche ou par une sécrétion latérale secondaire. Elles sont généralement vite limitées en profondeur et se présentent souvent suivant les rayons de la circonférence dessinée par le massif : par exemple, pour les filons d'or de Vulkoy et Verospatak en Hongrie. On peut faire rentrer dans le même groupe les filons d'or de Berezowsk (Oural) dans un granite à grain fin et ceux de la mine Waverley, province de Victoria en Australie, les quartz cuprifères avec or, molybdénite et bismuth telluré de la mine Näsmarken, en Telemark (Norvège), etc. Enfin certains stockwerks stannifères semblent se rattacher à cette catégorie.

Il y a lieu de remarquer que, lorsque la roche, en train de se contracter, était entourée d'un manteau de terrains schisteux, les effets dus à ce retrait ont pu parfois occasionner, dans les schistes, des ruptures limitées à une faible distance. C'est ainsi que certaines veines stannifères passent, sur une courte longueur, de la granulite au schiste.

Quant aux diaclases minéralisées, leur rôle est surtout celui de veines latérales à quelque grande fracture tectonique plus profonde.

18. Influence mécanique de la roche encaissante sur la disposition de la fracture.

— Une fracture, qui tend à s'ouvrir dans un sens déterminé à travers un ensemble de terrains de nature et de résistance différentes, changera nécessairement d'allure en passant de l'un à l'autre.

Il est facile de prévoir que, dans une roche compacte, homogène et dure, la fissure sera rigoureusement perpendiculaire à l'effort et, en même temps, très mince. Une roche stratifiée, encore homogène mais de résistance moyenne, sera celle qui se prêtera le mieux à l'ouverture d'un filon. La cassure y sera, même si l'effort est oblique, normale à la direction des bancs. Une roche gréseuse tendre produira, il est vrai, une large cassure, mais qui sera immédiatement obstruée par les éboulis. Un terrain schisteux amènera une déviation de la cassure dans le sens de la schistosité et un éparpillement de la fracture en très nombreuses veines.

Il en résulte, par exemple, qu'un filon, recoupant obliquement des alternances de grès et de schistes et une coulée de basalte, dessinera, en passant des grès aux schistes, une série de gradins représentés sur la *fig. 1*, se transformera

en une imprégnation très disséminée dans les schistes et se perdra vite en entrant dans le basalte (1). Cela est vrai aussi bien en direction qu'en inclinaison.

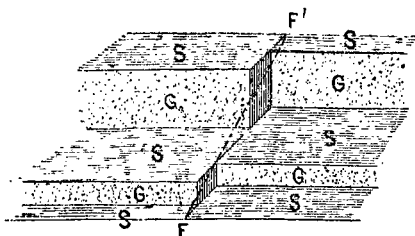


Fig. 1. — Disposition en gradins d'un filon traversant un système de grès moyennement durs G, et de schistes tendres S.

On peut, de ces simples remarques, déduire quelques lois relatives aux parties riches, qui ont été depuis longtemps signalées par les mineurs du Cornwall et du Pays de Galles, mais que M. Moissenet a dégagées de leur forme empirique, en leur donnant sans doute un peu trop de rigueur.

1° *Les parties riches d'un filon, traversant des terrains variables, sont celles où la fente est encaissée dans des strates de dureté moyenne.*

C'est, en effet, dans ces strates qu'ont pu s'ouvrir de larges fentes aux parois suffisamment résistantes pour qu'elles n'aient pas été obstruées par éboulement.

Si l'on remarque que l'intersection des strates

(1) Non représenté sur la figure.

successives par le plan du filon donne une série de zones inclinées comme les terrains recoupés, comprises chacune dans une strate et alternativement favorables et défavorables, on pourra mettre cette première loi sous une autre forme :

Les parties riches des filons plongent, en général, dans le même sens que le terrain encaissant ⁽¹⁾.

2° *Les parties les plus riches d'un filon sont celles où l'inclinaison est la plus voisine de la verticale.*

La fig. 1 rend compte de cette loi. Si l'on suppose en effet qu'une fente tende à s'ouvrir suivant FF', on voit immédiatement que cette fente devra prendre une disposition en gradins, la fissure dans les schistes trop tendres s'ouvrant à peu près suivant FF' ; dans les grès, au contraire, se déviant pour se rapprocher de la normale aux strates. Par suite, dans les parties schisteuses, le toit glissera sur le mur en ne laissant que peu de vide ; dans les grès, inversement, il se produira des espaces béants, que viendront remplir les minerais. Ce fait peut s'observer à la mine de plomb d'Alston-Moor (Cumberland).

3° *Dans un même filon, qui, en traversant*

(1) Lorsque nous nous occuperons du remplissage, nous parlerons d'une disposition columnaire des minerais, qui est un phénomène très différent de celui-ci.

des strates inégalement résistantes, est devenu sinueux, les parties riches formeront des éléments parallèles d'une orientation définie.

C'est, en plan, l'équivalent de ce qu'est, en coupe, la loi précédente; cela revient, en effet, à dire que les parties riches, étant toutes comprises dans des strates de même nature, ont l'orientation que prend le filon dans ces strates (fig. 2).

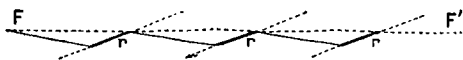


Fig. 2. — Orientation en plan des parties riches *r*, dans un filon FF'.

19. Formes principales des fractures.
Variations et arrêts en direction ou en inclinaison. — Si nous supposons d'abord une fracture mécanique simple s'ouvrant dans une roche homogène et de compacité moyenne, particulièrement dans une roche cristalline, cette cassure sera limitée par deux surfaces grossièrement planes, d'abord en contact et qui, en glissant l'une sur l'autre, laisseront un espace à peu près constant entre leurs deux épontes. On aura donc, dans ce cas, l'exemple le plus typique d'un filon régulier et prolongé, ce que les Anglais appellent *a true fissure vein*. Un pareil filon pourra atteindre une longueur considérable, jusqu'aux 120 kilomètres du *Mother Lode* de Cali-

fornie, le plus grand filon du monde. Cependant on doit toujours le considérer comme limité, dans chaque sens, à une distance plus ou moins grande, ordinairement assez courte. L'effort de tension superficielle, qui a ainsi séparé en deux la roche massive, a eu son maximum suivant une certaine ligne perpendiculaire à la direction du filon et, à une distance à peu près égale de part et d'autre, il est devenu nul. En sorte que, même le filon le plus simple n'est pas, en réalité, compris entre deux plans, mais entre deux surfaces courbes ⁽¹⁾, qui limitent un espace de section horizontale lenticulaire. Suivant l'inclinaison également, on doit s'attendre à rencontrer un resserrement analogue ; mais, si l'on réfléchit combien est peu de chose la profondeur maxima (1 à 2 kilomètres) atteinte dans nos mines à côté des distances parcourues horizontalement, on comprendra que cette cause influe relativement peu sur le rétrécissement d'un filon en profondeur.

A côté de ce cas très simple d'une grande fracture continue et à peu près plane, un cas qui se produira plus souvent, par suite des variations dans la compacité et la dureté de la roche, c'est celui d'une cassure à ondulations

(1) Dans les roches très compactes, il s'ajoute à cela une tendance naturelle de la roche à se rompre suivant une surface courbe.

multiples. Nous avons vu comment, dans une succession de grès et de schistes, il en résultait des enrichissements à la rencontre de certaines zones favorables. Mais le phénomène est plus général et, dans l'intérieur d'un même massif, ces ondulations, suivies d'un déplacement relatif du toit par rapport au mur, amèneront des alternatives d'élargissements et de rétrécissements très fréquentes dans certains gîtes. D'une façon constante, un filon, même lorsqu'il est compris dans une roche cristalline, mais surtout lorsqu'il traverse plusieurs terrains sédimentaires, doit être considéré comme ayant une forme en zigzags. Les rétrécissements (ou *serres*) momentanés, qu'on connaît bien en direction, ont parfois, lorsqu'ils se présentaient dans le sens de la profondeur, fait croire à une disparition complète du filon.

Comme autres accidents filoniens, il y a lieu de mentionner ici les bifurcations (*Trümmer* des Allemands) qui y sont très fréquentes, les ramifications diagonales reliant deux filons obliques; les ramifications arquées (*Geführte*) se détachant du filon principal pour aller le retrouver après un arc de cercle, etc. (1).

(1) Il est inutile de répéter ce que j'ai dit plus haut sur l'éparpillement des filons dans les schistes et les interstratifications locales qui y sont fréquentes; sur les cassures réticulées ou *stockwerks* dans certaines granulites, etc.

La *puissance* d'un filon est nécessairement un élément qui peut varier dans des proportions très fortes. Au Comstock (Nevada), elle dépasse plusieurs centaines de mètres et l'on s'est enfoncé au-dessous de 850 mètres en profondeur. Le filon argentifère de la Veta Madre de Guanajato au Mexique a 40 mètres de large, 12 kilomètres de long et a été suivi sur 400 mètres en profondeur. Dans un filon de galène argentifère, 5 à 6 centimètres d'épaisseur réduite (c'est-à-dire d'épaisseur de minerai en négligeant la gangue) couvrent, dans nos pays, les frais d'extraction. Enfin, à Kongsberg, on exploite fructueusement des veines argentifères très nombreuses de 0^m,005 à 0^m,20, qui se sont poursuivies déjà sur plus de 600 mètres de haut. D'une façon générale, on doit remarquer que les filons minces très métallisés sont souvent d'une exploitation plus avantageuse que les filons puissants où les gangues dominent.

La profondeur la plus grande constatée dans un filon proprement dit ⁽¹⁾ est celle du Puits Adalbert à Przibram, qui a dépassé 1 300 mètres. Le puits du filon Samson à Andreasberg a près de 800 mètres, etc.

20. Remplissages bréchiformes ou argileux. Salbandes. — Une fracture ouverte au

(1) Au Lac Supérieur, les mines de cuivre atteignent 1 800 mètres,

milieu de l'écorce terrestre, dans les conditions que nous venons d'étudier, n'a pu, en général, surtout lorsqu'elle avait d'assez larges dimensions, rester vide pendant le temps qui a précédé son remplissage. A moins que les épontes ne fussent d'une ténacité extraordinaire, il s'en est détaché des fragments, qui ont plus ou moins obstrué la cavité et exercé ensuite une action dirigeante sur les eaux métallifères.

Tantôt ces fragments éboulés dans la fente étaient formés de roches solides : par exemple, de gneiss, de granite ; ils sont alors restés à l'état anguleux et ont été simplement cimentés par le remplissage, qui a

produit, autour de chacun d'eux, des zones d'incrustation successives (fig. 3), analogues à celles que l'on remarque sur les épontes. Les exemples de ce genre de brèches cimentées sont innom-

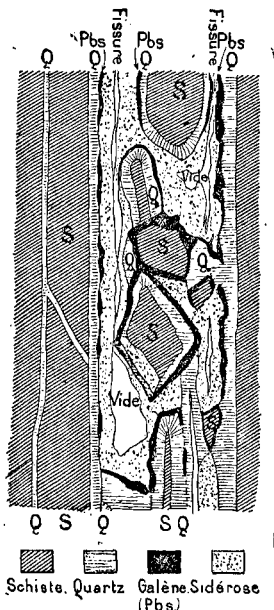


Fig. 3. — Échantillon d'un filon du Harz montrant la succession des remplissages avec zones concrétionnées, schistes empâtés et fissures encore ouvertes.

brables. Parmi les meilleurs types, on peut citer le filon argentifère du Comstock, en Nevada, où le ciment est formé de quartz, pyrite et sulfure d'argent ; celui du Sarrabus, en Sardaigne, où il est fait de calcite, argent rouge, argent sulfuré ; les filons du Harz (Clausthal, Zellerfeld).

Tantôt, au contraire, les épontes étant faites de schistes tendres, les fragments tombés dans le filon ont été réduits en poussière et délayés par les eaux, en sorte qu'ils ont produit une sorte de boue argileuse, dans laquelle le minerai prend souvent une allure lenticulaire. Ces remplissages argileux ont été parfois pris pour le produit d'une éruption boueuse tufacée.

Enfin l'on peut considérer comme un phénomène du même genre la présence, au milieu de certains filons ou amas, d'esquilles planes détachées de l'éponte et enveloppées par la gangue.

L'action mécanique, qui a produit l'ouverture de la fente, a, en général, déterminé un glissement du toit sur le mur (parfois un mouvement inverse). Lorsque ce mouvement a eu lieu avant le remplissage, il s'est manifesté, soit par une *face de glissement* ou *miroir* très lisse, séparant l'éponte de la gangue métallifère, soit plutôt par un produit de broyage argileux ou détritique, qui constitue la *salbande*. Ces miroirs et salbandes ont pu, en outre, être produits ou accentués par des glissements ultérieurs.

Une telle origine attribuée à la salbande explique aussitôt pourquoi les salbandes se présentent surtout au toit, plus rarement au mur. Les filons sont d'ailleurs loin d'avoir tous des salbandes. En particulier, lorsque l'éponte s'est prêtée à l'imprégnation ou à la dissolution chimique, on a passage graduel du minerai à la roche stérile. Le premier cas se manifeste souvent dans les grès ; le second presque toujours dans des calcaires. Les salbandes sont, au contraire, habituelles dans les terrains schisteux ou cristallins.

21. Accidents mécaniques contemporains du remplissage ou postérieurs. Minerais bréchoïdes. Déviations amenées par d'autres filons ou failles. — Les mêmes accidents mécaniques, qui avaient tout d'abord amené la production d'une fracture avec des éboulements bréchiformes et des salbandes, ont pu se renouveler pendant la durée même du remplissage ou postérieurement, pendant toute la suite des temps géologiques. Pendant le remplissage, cela vient de ce que le mouvement qui détermine une faille ne doit pas être considéré comme s'étant produit à un instant déterminé, mais, au contraire, comme s'étant prolongé pendant une durée très longue. Il en est résulté qu'une première minéralisation a pu être disloquée et, au même titre que les fragments tombés des

épointes, empâtée de nouveau par un second dépôt. Parmi les très nombreux exemples de pareils phénomènes, nous citerons le cas du Comstock.

Puis le phénomène mécanique, se continuant ou se reproduisant, a souvent amené l'ouverture d'une fracture nouvelle de même direction que la première, soit suivant son axe, soit dissymétriquement par rapport à lui, ce qui se traduit par la disposition des zones concrétionnées du remplissage ⁽¹⁾; et, lorsque l'ouverture de cette cassure a été accompagnée d'une faille, le glissement d'un toit et d'un mur métallifères l'un sur l'autre a parfois produit, dans la masse du minerai, de véritables miroirs polis, très abondants dans certains grands amas de pyrite (Huelva, etc.).

Mais ces dislocations postérieures, qui ont affecté la région, ont pu, au lieu d'être dirigées dans le même sens, être obliques sur les premières; il s'est formé ainsi, soit des failles stériles (ou *ruschels*), soit de nouveaux filons remplis, qui ont rejeté les premiers et, dans certains cas, y ont provoqué, autour de l'intersection, une réouverture locale avec enrichissement ⁽²⁾.

(1) L'existence très fréquente de sources thermales sur des filons est un cas particulier du même phénomène.

(2) Voir Ch. VI, § 34.

22. Détermination de l'âge d'une fracture. — L'âge d'une fracture filonienne est, en général, très difficile à déterminer et arrive rarement à être connu d'une façon précise.

L'âge des terrains encaissants en donne, il est vrai, une limite inférieure (à la condition de ne pas oublier la possibilité d'un jeu postérieur de la faille); mais, lorsque ce terrain est du gneiss, du granite, ou un terrain primaire, comme cela arrive souvent, le renseignement est fort incomplet.

D'un autre côté, une limite supérieure peut être fournie par l'existence, au-dessus de la fente, d'un terrain qu'elle ne recoupe pas, ou par la présence, dans un terrain sédimentaire du voisinage, de galets empruntés au remplissage.

Le premier cas se présente parfois; ainsi les filons de plomb de Pontgibaud (Puy-de-Dôme), encaissés dans le gneiss, sont recouverts localement par une nappe de basalte qu'ils n'entament pas; certains filons d'or d'Australie, compris dans le silurien, viennent buter en haut contre le carbonifère qui le recouvre en discordance; les filons de plomb de Linarès (Espagne), situés dans le granite, ne traversent pas un terrain de grès rouge, malheureusement d'âge mal déterminé, mais qu'on suppose triasique; etc.

Quant à la présence des galets, c'est un fait plus rare; néanmoins on connaît, par exemple,

de l'or roulé, pris aux filons, dans le pliocène de Californie.

Lorsque ces données immédiates ne permettent pas de déterminer l'âge d'un filon, on peut encore se servir de l'étude du système de dislocations générales de la région, en particulier de cette remarque, due à Werner, que les filons de même âge, dans une même région, sont fréquemment parallèles.

Pour reprendre un exemple cité plus haut, le faisceau des filons de plomb de Pontgibaud se prolonge très vraisemblablement au Nord par d'autres filons connus à Châteauneuf et qui, là, recoupent les tufs porphyritiques dinantiens ; les fractures y sont donc, au moins, postcarbonifères.

De même, les filons d'une zone de dislocation récente, dont les mouvements sont d'âge bien connu, ont bien des chances pour être eux aussi du même âge.

Cette détermination de l'âge des fractures conduit, lorsqu'on peut la préciser suffisamment, à distinguer en principe l'âge de la fracture de l'âge du remplissage, ordinairement très voisins l'un de l'autre. Le fait sera mis en évidence au § 34 à l'occasion des champs de fractures, où, si les âges absolus ne sont pas toujours déterminables, on peut du moins être fixé approximativement sur les âges relatifs des filons et de leurs remplissages.

23. Champs de fractures. — Un *champ de fractures* est un réseau de fentes enchevêtrées se recoupant et se rejetant l'une l'autre. Les champs de fractures les mieux caractérisés s'observent dans les massifs anciens, sur des points ayant dû être soumis à une torsion et ayant peut-être subi, pendant un temps prolongé, une succession d'efforts discordants : dans la Saxe et la Bohême Septentrionale, autour de Freiberg, Marienberg, Annaberg, Schneeberg, Joachimsthal ; dans la Bohême, à Przihrum et Mies ; dans le Harz, à Clausthal ; dans le Cornwall ; en France, à Vialas, etc. Nous aurons à y revenir pour l'étude des remplissages ; ici nous ne devons considérer que les phénomènes de dislocation.

Le cas simple dont il faut partir, c'est le recoupement d'un premier filon par une seconde cassure (faille ou filon). Rappelons sommairement quelques notions bien connues à ce sujet :

Quand une fracture, oblique sur la verticale, s'ouvre dans le sol, l'action naturelle de la pesanteur fait glisser le toit sur le mur et produit un rejet normal, où la pratique courante des mineurs fait rechercher le prolongement du filon du côté de l'angle obtus déterminé par la direction du filon et la faille (règle de Schmidt).

Quand, au lieu de l'action de la pesanteur, la force qui intervient est la pression latérale ré-

sultant d'un plissement, la masse, découpée en forme de coin, aura souvent, au contraire, une tendance à se mouvoir vers l'espace libre ou de bas en haut ; alors le toit remontera sur le mur et l'on obtiendra une faille dite inverse.

Ces *failles inverses*, qui peuvent être un cas particulier de la structure dite *imbriquée* (ou en forme de tuiles) produite par une série de plis couchés étirés parallèles, sont particulièrement fréquentes dans les zones extérieures des grandes chaînes de plissement régulières à cassures parallèles ; elles sont relativement rares dans les véritables champs de fractures compliqués des massifs anciens. Cependant, on en a constaté dans le Harz, à Andreasberg et l'on y a même cherché à les expliquer par le voisinage de masses éruptives amphiboliques ayant pénétré dans les thonschiefer. Le même phénomène se présente en bien d'autres points sans roches éruptives (à Holzappel, par exemple) ; je viens d'en donner la cause habituelle.

En résumé, l'ouverture d'une fente a toujours pour conséquence un mouvement relatif du toit et du mur. Ces failles, qu'elles soient normales ou inverses, minéralisées ou non, jouent, dans la pratique des mineurs, un rôle considérable, et la plus grande habileté de ceux-ci consiste souvent à démêler cet écheveau complexe de fractures diverses. En ce qui concerne le rejet pure-

ment mécanique, il importe de savoir déterminer quelle route la plus courte fera trouver la suite du filon ; pour le remplissage également, il sera souvent capital d'apprécier par quel système de fractures est arrivée la minéralisation. Aussi ces accidents ont-ils donné lieu, particulièrement en Allemagne, à de nombreuses études. Ces travaux, auxquels on a voulu parfois attribuer une précision théorique inadmissible, ont montré, par endroits, l'existence de certaines directions dominantes dans chaque phase du plissement ⁽¹⁾ et, par suite, établi une corrélation possible entre la direction du filon et son remplissage. Les filons comparables sont alors, ou parallèles entre eux ou, plus rarement, perpendiculaires : toute grande cassure s'accompagnant, comme il a été dit au § 17, d'étoilements perpendiculaires.

Semblable loi est bien mise en évidence, sur une carte géologique détaillée, par les filons de roches éruptives dans les massifs anciens dont l'érosion a mis à jour des sections suffisamment profondes : ainsi, par les filons de microgranulite et de porphyrite en bien des points du Plateau central. Ce qui en diminue beaucoup la valeur, c'est l'intervention des actions de torsion, des composantes obliques sur l'effort

(1) La direction doit être entendue comme une moyenne, sans oublier qu'un filon est, presque toujours, zigzaguant dans le détail et courbe dans l'ensemble.

principal. Il suffit, en effet, d'examiner le réseau de cassures, obtenu par Daubrée en tordant une glace, pour y voir apparaître, non plus seulement deux directions, mais deux faisceaux de directions grossièrement orthogonales l'une sur l'autre et embrassant chacun des angles d'environ 25°. C'est avec cette approximation qu'il convient de chercher la vérification de la loi.

Les intersections de semblables faisceaux sont, on le conçoit aisément, des lignes favorables où les eaux métallifères ont circulé plus aisément et d'une façon plus prolongée. On constate, d'une façon courante, l'enrichissement d'un filon à sa rencontre par un croiseur : enrichissement que les actions d'altération secondaire ont souvent, en outre, accentué.

24. Amas filoniens pyriteux. — L'origine ou le mode de formation des amas filoniens pyriteux ⁽¹⁾ est un problème difficile à résoudre et, quand on se trouve en présence d'un tel amas, il est même souvent permis de douter si l'on a affaire réellement à un amas filonien, non à un amas sédimentaire, comme il semble qu'il en existe également. Essayons d'indiquer d'abord

(1) Ces amas sont toujours lenticulaires et limités en coupe verticale comme en plan, mais forment généralement, à la suite les uns des autres, une sorte de chapelet,

quels caractères principaux permettront de distinguer un cas de l'autre.

Ce qui caractérise, d'une façon générale, un gîte filonien quelconque, c'est l'existence d'une fracture postérieure au dépôt du terrain, fracture ayant pu localement (surtout dans des schistes) suivre le plan de joint de deux strates et donner lieu ainsi à un filon couche ou à des apparences d'amas interstratifié, mais présentant toujours quelque point où ce recoupement soit visible. L'existence de salbandes, de brèches ou de tout autre fait dénotant des actions mécaniques peut également servir de caractère. Enfin la meilleure preuve que l'on a affaire à une action filonienne est donnée par la prolongation d'un même système métallifère à travers des couches d'âge différent.

Par contre, un gîte sédimentaire s'étant, par définition même, déposé postérieurement à son mur, antérieurement à son toit, le gîte, dans quelque position qu'on le rencontre, doit se comporter différemment par rapport à ses deux épontes, pénétrer parfois dans le mur qui pouvait présenter des fissures, jamais dans le toit et témoigner, dans le détail, d'une allure zonée caractéristique de la sédimentation. S'il existe plusieurs amas semblables dans la même région; il est évident qu'ils doivent tous se trouver au même niveau géologique.

Ce qui rend le problème souvent compliqué, c'est que les amas filoniens, presque toujours composés de sulfures métalliques, principalement de pyrites, se sont, dans bien des cas, développés par une action d'imprégnation, peut-être même de substitution progressive au milieu des roches schisteuses, en sorte que, dans ces schistes, on a tous les phénomènes locaux d'une interstratification, l'allure zonée, etc. ; parfois même, lorsque les schistes où ont pénétré les eaux sulfureuses étaient plissés, des alternances régulières de schiste et de minerai.

En fait, à bien peu d'exceptions près, tous les amas métallifères sulfurés filoniens sont encaissés dans des schistes et cette localisation même, à laquelle viennent s'ajouter les études de détail sur leur constitution, conduit à envisager leur formation de la façon suivante :

Un déchirement plus ou moins prononcé a dû se produire dans une zone relativement profonde des terrains sédimentaires et a ouvert peu à peu une série de vides, dans lesquels sont montés au fur et à mesure les magmas métalliques, à peu près comme se sont élevés ailleurs les magmas rocheux intrusifs. Une lentille de pyrite a dû cristalliser ici comme en d'autres points une lentille de microgranulite ou de gabbro et, sauf la proportion des minéralisateurs sans doute plus grande dans le premier cas, d'une façon assez ana-

logue. Parfois un tel vide a atteint de grandes dimensions et l'on trouve alors, comme dans la province d'Iluelva, une masse pyriteuse tout à fait homogène et sans traces de stratifications ni de zones sur plusieurs centaines de mètres. Plus généralement, l'incrustation a porté sur de très nombreux vides parallèles produits par les bâillements des feuilletés et, les lambeaux de schiste intermédiaires tombant en boue et se dissolvant dans l'eau, on a obtenu une masse pyriteuse à structure encore schisteuse, passant d'une façon progressive à la roche stérile, avec des apparences parfois analogues à celles d'une substitution. C'est le cas d'innombrables amas en Scandinavie, à Røros, Foldal, Vigsnes, etc.

Lorsque les schistes avaient été froissés et broyés suivant certaines zones spéciales, l'imprégnation, portant sur ces zones, a pris une forme particulière qui, suivant les pays, a été désignée sous le nom de *fahlbande* ou zone heureuse, de *brand* ou zone brûlée (à cause de son aspect rouillé sur les affleurements).

On peut en rapprocher les *filons couches* de chalcopyrite à gangue de sidérose du Tyrol (Kitzbüchel, Kupferplatten, etc.).

Enfin, si les schistes avaient subi ces torsions intérieures et ces contournements auxquels ils se prêtent si aisément, on a eu des apparences

de plis concordants, alternativement pyriteux et schisteux, sur lesquelles on s'est appuyé à tort, dans certains cas, pour en conclure, au contraire, l'origine sédimentaire du gîte. On peut imaginer, en effet, si l'on supposait une couche métallisée sédimentaire comme celle du Mansfeld, soumise ultérieurement à un plissement énergique, que ce plissement n'amènerait pas de tels contournements dans l'intérieur de la roche massive sans de nombreuses brisures.

25. Gites d'imprégnation. — Je ne mentionnerai ici que pour mémoire et afin d'indiquer leur place à côté des fractures filoniennes, les vides d'origine différente, tels que les interstices de couches poreuses, qui ont pu être remplis, imprégnés par les eaux : gisements dont il sera question de nouveau plus loin au § 37. Une eau souterraine ancienne a pu s'épancher dans une strate poreuse, comme le font aujourd'hui si fréquemment nos eaux minérales, et il semble que l'étroitesse des vides ait, dans ce cas, facilité la précipitation de certaines substances très solubles, telles que le mercure, pour lesquelles ce type de gisements se présente fréquemment.

Tout autre vide, d'origine et de nature quelconques, a pu également servir à la précipitation des minerais. Aussi a-t-on parfois supposé qu'il avait pu se produire des remplissages métallifères de grottes dans les cavités de ce genre, qui

existaient sans doute superficiellement à l'époque des cristallisations filoniennes, comme elles existent aujourd'hui. En fait, je ne crois pas que ce phénomène soit intervenu, parce qu'il ne me paraît pas que le dépôt des eaux métallisantes primitives soit jamais monté aussi près de la surface. Il y a, d'ailleurs, bien peu de chances pour que l'érosion nous ait laissé des exemples de grottes remontant à une époque géologique un peu ancienne et tous les remplissages métallifères qu'on observe dans les grottes (calamines, cérusites, etc.) me semblent dus à une remise en mouvement, produite par les altérations superficielles récentes.

CHAPITRE VI

GÎTES DE DÉPÔT HYDROTHERMAL. ÉTUDE DU REMPLISSAGE.

26. — L'étude du remplissage d'un filon métallifère, que nous supposons incrusté par dépôt hydrothermal, comprendra plusieurs points. Nous sommes en présence d'une fracture du sol qui s'est trouvée remplie par les minerais et leurs gangues. Il convient d'examiner successivement : 1° quels sont les corps que l'on trouve dans les filons et quelle est leur origine ? 2° si le remplissage s'est fait par en haut ou par en bas ? 3° quel est le véhicule (l'eau ou le feu) qui les a amenés ? 4° quels minéralisateurs sont intervenus et à quel état les métaux étaient en dissolution ? 5° quelle zone verticale de l'érosion terrestre a pu se prêter à ces dépôts incrustants ? 6° quel est l'âge du remplissage et, à ce propos, quel ordre chronologique on peut admettre dans la venue des métaux ? 7° quelle est la répartition des minerais dans le filon ; zones parallèles, co-

lonnes inclinées, lentilles, amas, etc. ? 8° quelle a été la succession des divers remplissages dans certains champs des fractures et l'influence des croiseurs ? 9° quelles sont les variations originales en direction ou en profondeur ? 10° quelle est l'influence physique, chimique ou électrique de la roche encaissante ? 11° quelles affinités chimiques produisent certaines associations minérales naturelles ; enfin 12° nous étudierons les gîtes d'imprégnation et, dans un chapitre suivant, nous envisagerons les modifications chimiques postérieures à la formation du gîte et les remises en mouvement des métaux.

27. Quels sont les minéraux que l'on trouve dans les filons et quelle est leur origine ? — Les *minéraux* que l'on trouve dans le remplissage des filons se distinguent en deux catégories essentielles : les minéraux métallifères ou *minerais* ; les minéraux non métallifères ou *gangues*. Sans chercher à en dresser la liste complète, il peut être bon d'indiquer les principaux pour chaque métal, dans un ordre correspondant à leur mode de gisement géologique, et à leur origine probable.

1° Les métaux que l'on trouve en profondeur, à l'état de métal natif, d'oxyde ou de sels oxydés et qui paraissent souvent avoir cristallisé par l'action des chlorures ou fluorures sont l'*or* (or natif), l'*étain* (cassitérite ou oxyde), le *bismuth*

(bismuth natif et bismuthine ou sulfure), le *tungstène* (wolfram, ou ferrotungstate de manganèse) l'*urane* (phosphates divers).

· L'or se présente, en outre, en tellurures (sylvanite, nagyagite) ou mélangé avec des pyrites de fer ou de cuivre, avec du mispickel, des minerais d'argent, etc.

· L'or, l'étain, le bismuth, etc., sont en connexion directe avec la venue d'une roche éruptive acide (granulite, trachyte, etc.) et remplissent souvent un réseau de fissures réticulé ou stockwerk.

2° Le *cuivre* existe à l'état de sulfures, antimonio-sulfures, etc. (chalcopyrite, pyrite de fer cuivreuse, phillipsite, chalcosine, cuivre gris); l'altération de ces minerais donne parfois, à la surface, du cuivre natif, des oxydes et carbonates (cuprite, azurite, malachite, atacamite, etc.). Ce métal forme, comme on l'a vu au § 15, une transition entre les précédents et les métaux sulfurés (plomb, zinc): il s'est souvent déposé, non plus dans les fissures de la roche mère (en ce cas, basique et magnésienne), mais à son voisinage immédiat et constitue aisément des amas.

· 3° Le plus grand nombre des métaux a cristallisé à l'état sulfuré ou sous forme d'arsénio-sulfures et d'antimonio-sulfures en dépôts concrétionnés: ainsi le *plomb* (galène); le *zinc* (blende); l'*argent* (argyrose, argent rouge, po-

lybasite); le *cobalt* (smaltine et cobaltine); le *nickel* (nickéline, chloanthite, millérite); le *mercure* (cinabre); etc.

On trouve, en outre, par un résultat d'altérations superficielles, le plomb et le zinc à l'état de carbonates (cérusite et calamine), l'argent à l'état natif, le nickel sous forme d'hydrosilicate ou garniérite, ces minerais constituant des gisements entiers.

Pour tous ces métaux, nous admettons, ainsi qu'on l'a vu antérieurement, une origine profonde et un apport par fumerolles.

4° Enfin, le *fer* et le *manganèse* forment le passage aux métaux facilement oxydables et solubles (alcalino-terreux et alcalins), que l'on distingue, dans la pratique, des métaux proprement dits et qui constituent : les premiers, les gangues; les seconds, le résidu emporté hors du griffon par les eaux métallisantes.

Le fer peut se trouver en abondance à l'état de pyrite, et rentre alors dans le cas des métaux sulfurés qui viennent d'être étudiés, mais il existe aussi fréquemment à l'état de carbonate (sidérose) et d'oxyde (hématite rouge ou brune) qui ne sont pas toujours des produits d'altération; le manganèse est à l'état d'oxyde ou de silicate et, par altération, à l'état de carbonate (pyrolusite, acerdèse, psilomélane, haussmannite, friedélite, rhodonite, dialogite, etc.).

La présence du fer à l'état de carbonate, quand elle ne résulte pas d'un métamorphisme superficiel exercé sur des pyrites ou chalcopyrites en terrain calcaire (ce qui paraît être le cas le plus fréquent), peut représenter un dernier terme affaibli de l'activité interne : celui qui est constamment manifesté dans nos sources thermales et où le sol dégage seulement de l'acide carbonique. Il suffit, du reste, de faire intervenir cet acide carbonique, sans supposer une venue ferrugineuse de la profondeur, pour expliquer la dissolution, sous l'action des eaux thermales, du fer contenu en si grande abondance dans toute l'écorce et, par suite, son dépôt dans des fissures après cette remise en mouvement. Donc, ainsi que nous le remarquerons pour les gangues, on n'est plus ici forcé, comme pour les métaux lourds, d'admettre toujours un apport direct par les fumerolles : celui-ci ayant dû néanmoins intervenir pour les pyrites et même parfois pour la sidérose ou l'oligiste.

5° Les *gangues*, ou parties stériles des filons, se composent essentiellement de silice sous toutes ses formes ; puis de carbonates de chaux, magnésie, fer et manganèse ⁽¹⁾ (calcite, dolomie, sidérose, dialogite) ; de sulfates tels que la

(1) Le fer et le manganèse (ce qui correspond bien à une remarque précédente) sont tantôt considérés comme minerais, tantôt comme gangues.

barytine et de célestine (parfois de gypse après altération en terrain calcaire) et de fluorine. Je ne parle pas, bien entendu, des particules empruntées mécaniquement aux épontes.

Une forte proportion de ces éléments des gangues a dû être enlevée aux terrains traversés par les eaux dans leur parcours souterrain, sans intervention des fumerolles. La plupart sont, en effet, abondants dans ces terrains et facilement solubles ⁽¹⁾. En outre, on est porté à croire que, tandis que les métaux lourds se sont concentrés anciennement dans le bain igné profond, ces éléments légers ont dû, depuis l'origine, être emprisonnés dans l'écorce superficielle de la Terre. Comme conséquence de cette manière de voir, on a cru remarquer parfois une certaine modification dans les gangues lorsqu'un filon passait d'un terrain dans l'autre, surtout d'un calcaire à un grès ou à un schiste. Cependant le soufre de la barytine, le fluor de la fluorine semblent bien provenir souvent des minéralisateurs, auxquels nous attribuons l'apport des métaux. Et même pour les autres corps, il y a lieu de faire remarquer, soit l'indépendance parfois absolue entre la nature de la roche et celle de la gangue (calcite dans des gneiss à Kongs-

(1) La baryte même est beaucoup plus fréquente qu'on ne l'avait cru d'abord dans les roches et terrains.

berg (Norvège), dans des schistes au Sarrabus (Sardaigne), etc.) (1) ; soit certaines affinités chimiques entre gangues et métaux, sur lesquelles nous reviendrons.

28. Le remplissage des filons s'est-il fait par en haut ou par en bas ? — Dès que l'on a commencé les premières études sérieuses de métallogénie au début du XIX^e siècle, on a imaginé, pour expliquer l'origine des métaux dans les filons, trois théories, qui, sous d'autres formes, ont reparu à diverses reprises dans la suite. Pour les uns, il y avait apport d'en bas (*per ascensum*) ; pour d'autres, apport d'en haut (*per descensum*) ; pour d'autres enfin, le minerai ne venait ni d'en haut ni d'en bas, mais des côtés, et pouvait se faire à lui-même sa propre place en se substituant, sans fracture préalable, à un terrain dont il dérivait. Toutes les fois qu'il s'agira bien d'un gîte originel, nous adopterons la théorie *per ascensum*, mais la théorie *per descensum* est à retenir pour les altérations secondaires, les remises en mouvement, les concentrations superficielles d'origine chimique ou mécanique et, quand il s'agit de

(1) Les exemples de silice dans des calcaires sont plus rares ; on y rencontre surtout la silice à l'état de silicates, quand on est au contact d'une roche éruptive, dans les ségrégations ignées, ou dans des gisements qui peuvent leur être assimilables comme ceux du Banat.

tels phénomènes secondaires, l'idée d'une sécrétion latérale, avec ou sans substitution, doit être également envisagée.

La théorie *per ascensum* résulte de tout l'ensemble des faits, qui ont été étudiés déjà, ou sur lesquels nous aurons à revenir encore.

En se bornant à des observations plus restreintes, on remarquera qu'une fente remplie par en haut aurait dû commencer également par s'incruster dans ses parties hautes, et, par conséquent, s'y obstruer ; on ne la conçoit pas non plus sans des dimensions suffisamment larges pour donner un accès facile aux eaux métalliques. Or, quoique les profondeurs atteintes dans nos mines soient bien faibles relativement aux distances parcourues horizontalement, on a cependant dépassé 1 300 mètres à Przibram ; et l'épaisseur des filons métalliques est parfois réduite à quelques millimètres. En outre, l'eau, venant sous pression de la profondeur, empêche l'encombrement total de la fissure par les produits détritiques tombés du haut et peut, par suite, y circuler assez longtemps pour produire des dépôts épais ; l'eau, arrivant de la surface, accumule, au contraire, rapidement les débris et, même dans de vastes ouvertures comme celles des grottes, amène bientôt une obstruction qui aurait empêché le remplissage de se poursuivre, etc.

Enfin un dernier argument chimique, c'est que, plus on s'enfonce dans un filon, plus on voit ⁽¹⁾ les minerais oxydés disparaître pour faire place aux minerais déposés dans un milieu réducteur. L'existence de ce milieu réducteur suffirait à prouver que les eaux, quelle que soit leur origine, avaient fait, avant d'arriver au filon, un trajet souterrain assez prolongé pour se débarrasser de leur oxygène.

Reste donc à examiner le cas des minerais oxydés, que l'on trouve dans de larges poches localisées au voisinage de la surface, au milieu de terrains calcaires se prêtant à la formation de grottes ou entonnoirs par la corrosion : minerais, que nous attribuons alors à une remise en mouvement, à une altération superficielle (§ 38). Même lorsque ces poches n'arrivent pas jusqu'au jour et (ce qui paraît très exceptionnel) n'y arrivaient pas au moment du dépôt ⁽²⁾, on est en droit d'invoquer, comme point de comparaison, l'exemple actuel des galeries souterraines des Causses avec leurs salles où la voûte s'exhausse sans ouvrir cependant au jour. En fait, pour les poches d'argile rouge à hydrosilicate de nickel avec

(1) Sauf le cas de l'étain dont nous reparlerons.

(2) Par opposition au cas où une strate postérieure serait venue recouvrir une poche ouverte en haut et comblée, comme le calcaire du Berry au-dessus des fers en grains sidérolithiques.

cobalt, chrome et manganèse oxydés en Nouvelle-Calédonie, pour les phosphorites du Quercy, pour les fers en grains du Berry, pour nombre de dépôts analogues avec phosphate de chaux, baryline ou psilomélane, etc., l'arrivée par en haut est aujourd'hui à peu près incontestable ; il y a eu concentration superficielle d'éléments empruntés à l'érosion, ou apportés par les organismes après une période d'émersion continentale.

Pour les calamines, cérusites, sidéroses, dialogites, formant des amas en terrains calcaires, l'origine première est également le remaniement d'un minerai sulfuré, que l'on retrouve en général quand on s'enfonce assez dans le gîte. Ce remaniement, qui peut être plus ou moins ancien, mais qui est nettement postérieur à la formation du gîte primitif et qui, comme on l'a vu au § 10, a toujours été localisé au voisinage de la surface, au-dessus du niveau hydrostatique existant au moment où il a été réalisé, a pu prendre deux formes distinctes. Parfois il y a eu dépôt dans de véritables grottes, dans des vides antérieurs, dans des lits de rivière souterraine, comme dans les cas précédents et le réel caractère de ce genre de gisements est bien manifesté par le fait qu'on en trouve d'identiques même dans des vides artificiels, tels que des galeries de mines antiques. La remise en mouvement a

pu alors, en s'accompagnant d'une réduction, donner, non seulement des carbonates ou des sulfates plus rares, mais des sulfures (galène et blende) sur des outils de fer ou des boisages. D'ordinaire, il y a eu substitution progressive du carbonate métallique, au carbonate de chaux encaissant; le sel métallique fait tache d'huile en partant de toutes les fissures qui pouvaient lui donner accès et il en résulte que l'amas a souvent, dans le détail, l'apparence d'une brèche, où des noyaux de calcaire inaltéré sont, par exemple, cimentés par de la calamine ou de la sidérose, avec passage progressif de ces minerais au calcaire.

Les exemples d'amas calaminaires, auxquels on peut attribuer une origine semblable, sont innombrables dans toute la zone méditerranéenne (Algérie, Tunisie, Sardaigne, Grèce, Espagne, etc.). Les gîtes de cérusite plus rares se trouvent notamment à Leadville (Colorado) et Eurèka (Nevada) ainsi qu'à Bulgar Dagh dans le Taurus Cilicien. On peut en rapprocher les carbonates de fer (plus ou moins transformés en hématite) des Pyrénées, de Bilbao, de l'Erzberg styrien, les carbonates de manganèse de las Cabesses (Ariège), etc.

29. Les remplissages filoniens ont été formés par les eaux. — La première question que l'on ait eu à se poser à l'origine des

études sur les gîtes filoniens était de savoir si ces gîtes avaient été produits par le feu ou par l'eau.

Si l'on a soin d'excepter les gîtes de ségrégations ignées, déjà étudiés plus haut et, dans une certaine mesure, quelques gîtes de départ immédiat ou de contact, pour lesquels l'activité ignée a pu intervenir en même temps que les eaux chaudes et minéralisées sous pression, les gîtes filoniens métallifères résultent d'un apport aqueux et c'est ce que j'ai exprimé en leur attribuant le nom général de dépôts d'incrustation hydrothermaux ⁽¹⁾. Les principaux arguments en faveur de cette thèse sont les suivants :

1° Jamais on ne trouve, dans les filons, de traces de fusion.

2° L'allure concrétionnée, caractéristique de bien des filons, résulte directement d'un dépôt par les eaux et est incompatible avec une action ignée.

3° Si l'on passe à la nature du remplissage, on constate que les éléments des filons se retrouvent dans les eaux minérales et que l'état où ils s'y rencontrent, très différent de celui où on les

(1) Élie de Beaumont avait établi une distinction fondamentale entre les filons rocheux, produit d'une injection de matière liquide ou pâteuse et les filons métallifères résultant d'une activité solfatarienne ayant eu pour véhicule la vapeur d'eau.

voit dans les roches, est, au contraire, analogue à celui où ils existent dans les dépôts sédimentaires, dans les précipités formés par les eaux. Ainsi les silicates, si caractéristiques des roches, sont rares dans les filons et n'y sont représentés que par des minéraux où l'action secondaire est visible, comme de l'épidote ou des zéolithes. Par contre, on retrouve la silice isolée à l'état de quartz, la chaux et la magnésie en carbonates, le fer et le manganèse en oxydes, comme dans les produits d'altération des silicates étudiés par Ebelmen.

4° La calcite, la barytine, la fluorine, gangues habituelles des filons, cristallisent aisément par l'eau et ne semblent pas pouvoir être reproduites par fusion.

5° On trouve, associés dans les filons, des minerais de fusibilité très différente, comme la chalcosine ou la stibine et la pyrite.

6° Le quartz filonien présente souvent des inclusions liquides qui se vaporisent à 27°, etc.

La seule question à se poser est donc de savoir si les filons ont pu être incrustés par l'arrivée directe de vapeurs sèches, comme en donnent, par exemple, la distillation du cinabre ou de la stibine, ou si l'eau est nécessairement intervenue.

On doit remarquer que la sublimation de la plupart des corps demande une haute tempéra-

ture, qui n'a pu être réalisée dans les filons pour les raisons ci-dessus énoncées. En outre, les gangues (calcite, barytine, fluorine), si souvent associées aux minerais, ne se reproduisent pas ainsi ; le métamorphisme habituel des remplissages bréchiformes et des terrains encaissants, l'association de produits, volatils ou non, témoignent d'une action aqueuse. Enfin et surtout, l'étude directe des émanations volcaniques montre que la vapeur d'eau y joue toujours un rôle tout à fait prépondérant : rôle que les études pétrographiques conduisent à étendre à toutes les formations de roches cristallines.

Cette eau, qui a ainsi incrusté les filons, est arrivée, comme l'on l'a vu dans le paragraphe précédent, de la profondeur à l'état de source thermale. On peut même admettre qu'une partie s'est dégagée directement à l'état de vapeur avec les fumerolles du magma igné, le reste provenant d'un simple circuit artésien rencontré par l'ascension de ces fumerolles. Mais, sur l'origine première de cette vapeur dégagée par la roche ignée, on discute aussi bien que sur celle de l'eau qui sort des volcans actuels et les théories opposées que j'ai indiquées au § 5, se retrouvent les mêmes dans ce cas : réserve profonde ; refusion de roches cristallines ; infiltrations superficielles.

30. Rôle des minéralisateurs. Les parties profondes des filons se sont déposées dans un milieu réducteur. — Le rôle des minéralisateurs, c'est-à-dire d'un certain nombre de métalloïdes tels que le chlore, le fluor, le soufre, le sélénium, le tellure, l'arsenic, l'antimoine, le carbone ou le bore, résultant apparemment de fumerolles et susceptibles de donner, avec les métaux, des combinaisons solubles, a été bien mis en lumière par Elie de Beaumont. On peut ajouter à la liste l'eau elle-même qui paraît avoir été sous pression le minéralisateur par excellence.

Il est certain que, pour quelques gites filoniens, l'intervention des métalloïdes empruntés à une activité volcanique n'est pas nécessaire ; les expériences de synthèse, jointes à l'étude des sources thermales, des fossilisations, etc., prouvent, en effet, que l'action très prolongée de liqueurs alcalines étendues, produites elles-mêmes par le simple contact de l'eau chaude avec des roches granitiques, suffit pour dissoudre et faire cristalliser ensuite des traces appréciables des métaux même considérés comme les plus insolubles. C'est ainsi que, dans les sources de Bourbonne et Bourbon, le cuivre des monnaies a donné chalcosine, phillipsite, etc., qu'on a réalisé la synthèse du quartz et même du feldspath au moyen du carbonate de soude. L'or est

soluble dans une eau qui contient un peu de cyanures, de nitrates, de sulfates ou de chlorures alcalins. La présence des sulfures alcalins amène la dissolution de sulfures métalliques, tels que le cinabre et cette dissolution des sulfures est encore facilitée quand l'action oxydante de l'air les fait passer en sulfates ou quand l'acide carbonique intervient. Les sulfates de l'eau donnent, à leur tour, en présence de matières organiques, des sulfures. Enfin des minéralisateurs analogues à ceux des fumerolles existent dans l'eau de mer et même dans la plupart des eaux superficielles un peu concentrées.

Cependant, quoique ces constatations aient paru, à certains esprits, suffisantes pour expliquer la formation de tous les gîtes filoniens par des réactions superficielles, on peut admettre (en remarquant l'infiniment faible importance de semblables influences par rapport à des masses métallifères de plusieurs centaines de mètres de large comme les amas pyriteux de Rio-Tinto ou de 110 kilomètres de long comme le grand filon aurifère de Californie), que l'étude des fumerolles volcaniques nous permet d'invoquer des agents beaucoup plus actifs. L'intervention de ces agents est d'ailleurs rendue très vraisemblable par le rapprochement habituel entre les filons et les roches éruptives, qui ont

dû en dégager de semblables au moment de leur cristallisation et par l'abondance de ces minéralisateurs (en particulier, le soufre, l'antimoine et l'arsenic) encore présents dans les filons concrétionnés.

Nous avons déjà vu que la plupart des filons, surtout ceux en relation avec des roches basiques, se sont originellement déposés dans un milieu soustrait à l'influence toujours oxydante des eaux superficielles et, par suite, réducteur. Ce n'est que très postérieurement qu'il s'est produit, dans les parties hautes des filons concrétionnés, une altération en rapport avec le niveau hydrostatique, avec la superficie telle que l'ont modelée les mouvements successifs et les érosions avant le moment où cette altération s'est produite.

A mesure qu'on s'enfonce dans les filons, et qu'on atteint leurs parties réellement inaltérées, on voit les minerais se simplifier et se réduire, dans la plupart des cas, à des sulfures, arséniures, antimoniures, etc. Un seul métal important, l'étain reste à l'état d'oxyde aux profondeurs les plus grandes où on va le chercher, jusqu'à 800 mètres. La persistance exceptionnelle de l'oxygène dans ce cas est due, sans doute, au mode de cristallisation probable de l'étain par l'intervention des chlorures, peut-être aussi à l'excès d'oxygène qui caractérise les

roches acides avec lesquelles ce métal est en relation (1). Il est, d'ailleurs, évident, malgré la prédominance des éléments réducteurs dans ce magma interne, qu'il s'y est trouvé de l'oxygène dans toute la zone relativement voisine de la surface que peuvent atteindre nos travaux de mines, ne fût-ce que celui provenant de la dissociation de l'eau, puisqu'il s'y est formé des scories qui constituent les roches. L'origine réelle des métaux filoniens semble devoir être cherchée plus bas encore que cette scorie oxydée, ainsi qu'on l'a vu au § 2. Partout ailleurs que dans les filons d'étain, l'oxygène disparaît, en effet, dans la profondeur des filons et l'on ne trouve plus, avec les métaux, que les éléments qualifiés de minéralisateurs.

Nous supposons, dès lors, que l'étain et l'or sont arrivés à l'état de dissolutions chlorurées ou fluorées ; le zinc, le plomb, le cuivre, l'argent, le mercure, à l'état de sulfures ou sulfosels, probablement dissous dans des sulfures alcalins ; le fer, soit à l'état de sulfure, soit à l'état de carbonate, etc.

On a, il est vrai, fait à l'intervention du fluor dans la cristallisation de l'étain, quelques objections : ainsi l'existence de cristaux de blende

(1) L'étain joue là un rôle comparable au silicium, dont il se rapproche chimiquement par l'intermédiaire du titane.

entourés par la cassitérite alors que le fluorure d'étain aurait attaqué le sulfure de zinc, la rareté de la fluorine dans les filons du Cornwall sauf dans les parties cuprifères, etc. Il n'en est pas moins vrai, comme l'ont mis en lumière les beaux travaux de Daubrée, que l'on constate, d'une façon générale, la disparition du feldspath autour des venues stannifères (1) ; la substitution même de la cassitérite au feldspath ; l'association habituelle de la cassitérite avec un certain nombre de minéraux qui, comme elle, ont été reproduits synthétiquement au moyen des fluorures : topaze, apatite, émeraude, fluorine, etc. ; de plus, le quartz des filons d'étain est un quartz très spécial, riche en inclusions liquides, etc.

La distinction des minéralisateurs indiquée plus haut nous amènera, en définitive, par comparaison avec les volcans actuels, à supposer des relations d'âge ou de position entre la nature des minerais et la roche éruptive, comme nous allons le voir dans un paragraphe suivant (§ 32).

31. La zone des remplissages filoniens est limitée par en haut et par en bas. Ces dépôts, à l'origine, ne se sont généralement pas faits jusqu'à la surface. — Si le

(1) D'où les roches spéciales de quartz et mica (greisen, hyalomicté, schorl, etc.) qui accompagnent l'étain.

remplissage des filons métallifères a eu lieu, comme nous venons de le voir, par en bas, faut-il donc en conclure que, dans le sens de la profondeur, un tel filon doit avoir, au moins en principe, une extension indéfinie? Faut-il, d'autre part, se représenter, suivant une idée qui a été couramment admise autrefois, les eaux métallisantes arrivant jusqu'à la surface encore chargées de métaux et jaillissant de leurs griffons comme des geysers métallifères, qui auraient pu déposer, autour de leur orifice, des couches, des enduits, des nappes superficielles de minerais? L'une et l'autre hypothèse me paraissent à rejeter et, en laissant même de côté toutes les raisons purement mécaniques qui peuvent faire prévoir la terminaison des fractures en profondeur, je crois que l'incrustation même a dû, au moment du dépôt primitif, être limitée dans les deux sens, par en haut comme par en bas, à une zone relativement restreinte. Si nous trouvons aujourd'hui les minerais jusqu'au jour, c'est que l'érosion a enlevé les parties plus hautes, où la fracture avait pu rester stérile et si nous ne voyons pas plus souvent la minéralisation disparaître en profondeur (quoique le fait soit encore fréquent), c'est parce que la hauteur de nos travaux de mines est absolument insignifiante à côté du rayon terrestre et de l'épaisseur probable des diverses zones de cristallisation ou

de dépôt, qui ont pu être réalisées dans l'écorce.

Mais nous devons remarquer que le dépôt de minerais par une eau qui contient des principes métalliques en dissolution exige des conditions spéciales de température, de pression, de réactions chimiques, de sursaturation, etc. Il faut, là où ces minerais se sont déposés, que les conditions ayant amené d'abord la dissolution se soient trouvées modifiées par des circonstances spéciales, donc localisées. Enfin, l'absence, en réalité presque complète, de véritables minerais dans les dépôts actuels de nos sources thermales, même dans les régions volcaniques et, dans ces zones éruptives, le défaut de filons métallifères, là même où l'érosion les a déjà assez fortement attaqués, laissent supposer que la formation des appareils volcaniques extérieurs et le dépôt des minerais par les eaux incrustantes ont exigé pour se réaliser des profondeurs différentes, et sont, par conséquent, incompatibles l'un avec l'autre.

32. Age des remplissages. Chronologie des venues métallifères. Exemples choisis pour les divers métaux. — Nous avons, au § 22, vu la façon dont on pouvait reconnaître parfois l'âge d'une fracture filonienne et montré comment les déterminations précises à cet égard étaient, en somme, fort rares. L'âge du remplissage métallifère peut être différent de celui de la

fracture ; c'est-à-dire que, malgré la connexité habituelle entre le phénomène de plissement qui a ouvert la fracture et l'action hydrothermale qui l'a remplie, l'un n'est pas nécessairement solidaire de l'autre. En résumé, on conçoit qu'il ait pu s'ouvrir, en certains points de l'écorce, des fissures restées stériles, comme celles que nous appelons des diaclases ou des failles : fissures où se seraient seulement accumulés d'abord les éboulis des parois et qui, au bout d'un temps assez long, parfois même après s'être obstruées et réouvertes, auraient servi de chenal à une venue métallisante.

On le constate dans un champ de fractures, lorsqu'un filon est rejeté par un autre de direction différente et que néanmoins on rencontre, dans les deux, le même remplissage passant indifféremment de l'un à l'autre.

Néanmoins j'ai pu montrer, en étudiant les sources thermominérales (1), que ces sources sont actuellement localisées dans les régions récemment disloquées de l'écorce, et rattacher cette localisation à l'absence, dans les autres régions, de fractures profondes encore ouvertes et susceptibles de leur donner une issue : d'où il résulte que les fractures d'une période géologique ne

(1) L. DE LAUNAY. — *Recherche, captage et aménagement des Sources thermominérales*. Baudry, 1899, p. 213.

semblent guère avoir pu survivre, sans se combler ou sans être détruites par l'érosion, à cette période qui les a vues naître et que l'âge du remplissage doit, en général, coïncider à peu près avec celui de la fracture.

On conçoit, en tout cas, qu'un intervalle entre les deux phénomènes n'a pu exister pour les gîtes de ségrégation ignée, où l'amas métallifère a dû suivre le vide qui s'ouvrait devant lui, ni pour les gîtes d'émanation directe, comme ceux d'étain, ou de départ, comme beaucoup de gîtes de cuivre. Dans ces deux derniers cas, en effet, la venue métallifère, issue de la roche encore très chaude, a dû immédiatement remplir le réseau de fissures formé par l'ascension et par le retrait de celle-ci, soit dans sa masse même, soit à son voisinage immédiat.

Indépendamment de la limite minima que nous donne, pour rechercher l'âge du remplissage, celui de la fracture, nous aurons à tenir compte, dans cette détermination, des observations faites sur les filons et failles transversales et, après avoir bien constaté la relation entre un métal et une roche donnée, nous pourrons utiliser l'âge de cette roche s'il se trouve connu.

C'est ainsi que, dans une région donnée, pour une phase de plissement déterminée, on croit reconnaître une certaine relation entre la nature des venues métallifères et leur âge ou la succes-

sion probable de leur formation, ou plutôt il semble que les venues métallifères d'une certaine nature aient été, dans toutes les phases de plissement consécutives, capables de pénétrer plus ou moins loin, plus ou moins haut, dans l'écorce et, par conséquent, d'atteindre des terrains plus ou moins récents. Il en résulte, pour les métaux, une apparence de succession chronologique, analogue à celle que, pour une cause pareille, affectent les divers types de la série pétrographique (1).

En tenant compte de cette restriction essentielle, on peut essayer de rattacher les successions métallifères des diverses zones géographiques aux plissements principaux que ces zones ont subis, comme on leur a rattaché les successions pétrographiques.

Or j'ai expliqué, dans la *Science géologique*, comment la consolidation définitive du globe terrestre et sa résistance ultérieure aux plissements avaient paru se réaliser progressivement dans notre hémisphère en partant du pôle Nord pour se rapprocher peu à peu de la Méditerranée, qui demeure notre zone la plus fragile. De premiers voussours formant une couronne

(1) Voir, pour les restrictions apportées par la notion de profondeur à la notion d'âge aussi bien en pétrographie qu'en métallogénie, la *Science géologique*, p. 565 et 622.

boréale ont été plissés aux temps les plus primitifs de l'histoire géologique, comme ont pu l'être les Alpes à l'époque tertiaire ; puis ils ont formé un bloc solide, incapable de se plisser, bien que susceptible encore de se disloquer par décrochements ou effondrements, avec jeu relatif des compartiments voisins dans le sens vertical. Ce qui s'était produit pour cette première couronne boréale s'est réalisé un peu plus tard pour une seconde zone plus méridionale à l'époque dite calédonienne vers le silurien ou le dévonien, puis pour une troisième dite hercynienne vers le carbonifère, enfin pour une quatrième dite alpine vers le tertiaire. Ainsi s'est peu à peu réduite la zone réservée aux plissements, qui, resserrés dans un espace de plus en plus restreint, entre des noyaux solides de plus en plus rapprochés, ont dû prendre des formes plus compliquées, peut-être des saillies plus hautes et être accompagnés, ce semble, par des effondrements plus prononcés.

Chaque région a ainsi subi deux mouvements principaux : le premier, où elle s'est plissée ; le second, où, passée à l'état de massif solide, d'avant-pays, elle s'est disloquée sous le choc de la vague suivante, partie d'un plissement qui, en Europe, est plus méridional. Les venues métallifères directement connexes des plissements paraissent avoir été réservées aux parties laté-

rales de la chaîne plissée et, sans doute, à ses zones profondes ; la seconde phase, celle des éclatements, a dû amener l'incrustation de plus nombreux filons métallifères ; c'est donc souvent cette seconde phase qui prête aux gîtes métallifères d'une région leur type caractéristique et, de toutes façons, ce type est attribuable, soit à la position de la région considérée par rapport aux mouvements qu'elle a subis, soit à la profondeur que l'érosion a eu le temps d'y mettre à nu depuis un remplissage plus ou moins ancien.

On peut essayer d'appliquer sommairement ces notions aux divers métaux et de vérifier les récurrences qui ont dû résulter pour chacun d'eux de la répétition de conditions semblables dans des phases de plissement successives. Si approximatives et provisoires que soient, pour les raisons indiquées plus haut, nos notions d'âge, il n'y en a pas moins un certain intérêt théorique à tenter un tel groupement.

On doit, avant tout, établir une distinction fondamentale entre les métaux liés aux roches acides à fumerolles abondantes et les métaux des roches basiques.

Dans le premier groupe, nous considérerons comme s'étant dégagés dans un ordre à peu près constant, ou du moins à des distances du magma igné de plus en plus grandes :

D'abord à l'état de chlorofluorures, au-dessus

de 500°, l'or et l'étain accompagnés par du bismuth et du tungstène et quelques sulfures de zinc, plomb, cuivre, fer, etc., ou des carbures, en général masqués par la prédominance des chlorures ;

Puis, à l'état de sulfures, entre 400 et 300°, l'antimoine d'abord, ensuite le plomb et le zinc (avec cuivre, fer, cobalt), l'argent, et, au-dessous de 200°, le mercure : cela avec apparition de plus en plus accentuée des carbures qui abondent dans les gîtes de cinabre et se présentent déjà dans ceux d'argent.

Enfin, au-dessous de 100°, à l'état de carbonates, le fer, le manganèse (¹), etc., cette dernière phase, étant, en général, très longtemps prolongée.

Dans les roches basiques, les minéralisateurs étant moins abondants, nous avons retrouvé souvent les métaux à l'état d'inclusions ou de ségrégations ignées : c'est ce qu'on constate pour le platine, l'or, le chrome, le fer, le nickel, le cuivre, etc. ; ou, si le dégagement s'est effectué, il a eu lieu en sulfures ou en carbures, à petite distance, souvent même au contact de la roche : ce sera le cas de bien des gîtes de cuivre, de fer,

(¹) Le fer et le manganèse ont pu arriver également en chlorures : le fer abonde d'autre part dans les gîtes sulfurés.

ou de nickel, plus rarement d'autres métaux sulfurés.

Commençons par les métaux dégagés sous forme de chlorures, tels que l'or, l'étain, etc., métaux dont la cristallisation s'est faite dans ce cas, soit à l'état de métal natif ou peut-être d'oxyde combiné à la silice pour l'or, soit à l'état d'oxyde pour l'étain, jusque dans les profondeurs des filons. Nous examinerons, en même temps, les gisements où l'or a pu cristalliser sous l'influence de minéralisateurs différents du groupe sulfuré, soufre, sélénium, tellure, arsenic, antimoine.

On a, pour l'or, plusieurs venues bien caractérisées :

Tout d'abord, les terrains cristallophylliens de nombreuses régions anciennement consolidées et profondes, ou les terrains du même genre ramenés de la profondeur dans l'axe de plissements plus récents contiennent souvent des pyrites, chalcopyrites ou mispickels aurifères. La Scandinavie, le Canada, le Brésil, le centre de l'Afrique en présentent de très nombreux exemples.

La venue calédonienne paraît marquée dans le gîte de Bömmelö (côte de Norvège) étudié par M. Reusch. Au milieu du silurien plissé, les filons de quartz aurifère sont en relation avec des roches granitiques. Plus à l'Ouest, sur la même chaîne, l'or calédonien se retrouve dans

les filons du Merionetshire (Pays de Galles), encaissés dans le silurien. Les gisements d'or associés à l'étain, qui existent dans les massifs hercyniens, sont peut-être attribuables à de premiers mouvements d'âge calédonien que ces massifs auraient subis. Les filons correspondants, aussi bien que les roches granulitiques dont ils dérivent, ne recourent, en effet, nulle part de terrains postérieurs au dévonien. Tel doit être le cas pour les filons de Berezowsk dans l'Oural, associés à des granulites, aussi bien que pour les traces aurifères de notre Plateau Central.

Au Sud de l'équateur, nous croyons retrouver des gîtes du même âge : au Transvaal, où les conglomérats aurifères du Witwatersrand ont été considérés comme dévoniens ; en Australie, où de nombreux filons recourent le silurien et sont antérieurs au carbonifère.

La venue aurifère hercynienne est mal caractérisée ; l'or semble, en moyenne, se trouver ou plus haut ou plus bas que la profondeur atteinte dans les plis hercyniens. Mais la venue tertiaire est très importante le long de la chaîne des Andes, particulièrement en Californie ou au Mexique et se retrouve en quelques points de la chaîne alp-himalayenne, comme dans les Carpathes. On en a également des indices dans la Nouvelle-Zélande. Cet or accompagne ordinairement des roches acides.

Si nous voulions faire l'histoire complète de l'or, il conviendrait d'ajouter qu'à côté de cette venue acide, il existe, dans chaque phase de plissement, une venue basique, où l'or, associé à des sulfures divers, se concentre à la périphérie de massifs de gabbro, diorite, serpentine, etc., sous forme de ségrégations ou de dépôts immédiats.

A peu près tous les gisements d'étain sont en relation avec les granulites du plissement calédonien (ou peut-être hercynien).

Dans le Cornwall, la granulite de Dartmoor, qui a amené l'étain accompagné de cuivre, traverse le dévonien supérieur. En Saxe, la granulite stannifère est encaissée dans les micaschistes. En France, à la Villeder, elle est dans le cambrien ; mais l'étude générale des granulites de Bretagne montre que ces roches sont postérieures aux granites, dont les masses les plus récentes pénètrent elles-mêmes, d'après M. Barrois, le carbonifère inférieur (dinantien). Dans le reste de la France, on voit fréquemment la granulite, dont dérive l'étain, recouper le silurien. De même, en Galice, l'étain, toujours lié avec la granulite, est en filons dans le silurien. Les filons du Dakota, associés à des greisen, traversent également les terrains anciens. Les filons du Natal, comme ceux d'Australie, semblent se rattacher au mouvement qui a plissé les terrains jusqu'au dévonien avant le carbonifère.

Quant à la venue tertiaire, elle est représentée par les filons de Campiglia Marittima en Toscane, dans le jurassique ; par les cristaux de cassitérite des granulites tertiaires de l'île d'Elbe, par les gîtes complexes de la Bolivie, où l'étain se retrouve, comme dans le Cornwall, associé au cuivre. Beaucoup de gisements qui contiennent l'étain renferment également du bismuth et du tungstène, souvent associés d'autre part à l'or.

Le *bismuth* (souvent combiné au soufre) se trouve dans les gîtes stannifères primaires de Saxe et du Plateau Central, ou tertiaires de Bolivie (Chorlque, Oruro). Les gîtes de Bolivie contiennent également de l'or. De même à Bléka (Norvège), on exploite du bismuth sulfuré avec or natif, en filons qui peuvent être calédoniens.

Par contre, le bismuth se trouve dans certaines venues d'argent, plomb, nickel et cobalt comme celles de Schneeberg et Joachimsthal, en Saxe, d'un type hercynien.

Le *tungstène*, sous forme de wolfram, est presque constant dans les gîtes stannifères de Cornwall et Saxe. Il se trouve avec le bismuth de Meymac (Plateau central), avec les mispickels aurifères de Bonnac (Cantal).

Après ces premières venues chlorurées des roches acides et chaudes, les sulfures deviennent plus abondants. On retrouve l'*arsenic*, qui entrait déjà à l'état de mispickel dans les gîtes

stannifères et on commence à rencontrer l'*antimoine*, qui, sous forme de stibine, semble marquer une transition entre les gîtes d'émanation directe et les gîtes sulfurés concrétionnés.

La *stibine*, comme la cassitérite, forme rarement, dans les fentes, des zones continues d'incrustation ; elle est plutôt en mouches, en lentilles disséminées dans le remplissage quartzeux ; ce qui semble indiquer une précipitation presque simultanée de la silice et du sulfure d'antimoine. En outre, elle est presque toujours accompagnée d'une roche micro-granulitique.

Les venues sont principalement de deux époques, l'une carbonifère (c'est-à-dire hercynienne), l'autre tertiaire.

A l'époque hercynienne, nous rattacherons les filons nombreux du Plateau central français, souvent encaissés dans le granite ou le gneiss, mais dont quelques-uns traversent les grauwackes du dinantien ; ceux de la Forêt-Noire, dans le silurien ; de la province de Barcelone, dans le dévonien ; les gîtes d'Arnsberg en Westphalie, disposés dans le carbonifère sous une forme sédimentaire. Les stibines aurifères du Murchison Range au Transvaal sont également hercyniennes ou calédoniennes.

A l'époque tertiaire correspondent les nombreux gîtes d'Algérie, où la stibine entre dans un remplissage de sulfures complexes (plomb,

zinc, mercure, etc.), ceux de Felsobanya (Hongrie), de la Serbie, de Pereta (Toscane), etc.

Jusqu'ici, nous avons eu généralement affaire à des métaux en relation directe avec la roche mère et à son voisinage immédiat ; en passant aux métaux suivants, nous devons, suivant une remarque précédente, introduire de plus en plus, à côté de la notion d'âge absolu, celle de la distance à la roche. De même que, dans une éruption volcanique, on peut observer une semblable succession de fumerolles, soit en étudiant le refroidissement progressif de la lave en un point donné, soit en suivant, au même moment, une coulée de lave d'un bout à l'autre de sa longueur, on conçoit qu'à des distances de plus en plus grandes de la chaîne de plissement et à des niveaux de plus en plus élevés dans la chaîne plissée, on puisse avoir, à la fois, des venues chlorurées ou stannifères ; puis sulfurées ou plombifères ; enfin carbonatées ou ferrifères, comme on les aurait au même point, à des époques successives.

Dans le remplissage des filons sulfurés, le *zinc* et le *plomb*, associés normalement au fer, jouent un rôle à peu près identique et leur venue semble contemporaine ; ces deux métaux sont, d'ailleurs, réunis dans le plus grand nombre de leurs gisements.

• Considérons d'abord les gites de *zinc*.

Nous avons, en Suède, un représentant d'une venue primitive de zinc dans les gneiss bleus de Ammeberg.

Puis nous trouvons des filons post-siluriens dans l'île de Man, le Cornwall, etc. Les gîtes de Bensberg en Prusse Rhénane, de Brilon et Iserlohn en Westphalie sont dans le dévonien moyen.

Postérieurement au houiller, nous avons, pendant la période permotriasique, de très nombreux gisements : ceux de la vieille Montagne en Belgique ; ceux de Carthagène (Espagne) dans le permien ; ceux de Raibl en Carinthie, et de Silésie dans le Muschelkalk ; enfin, sur la bordure Sud-Est du Plateau central, les gîtes de la Lozère et du Gard qui vont du trias à l'oxfordien. Les gisements de Sardaigne, encaissés souvent dans des calcaires siluriens, semblent se rattacher à des mouvements permo-triasiques.

Quant au zinc tertiaire, il est exploité à Santander en Espagne ; en divers points de l'Algérie et de la Tunisie ; à Blankenrode, en Allemagne, etc., et l'on peut être tenté de rattacher à la même venue tertiaire beaucoup des gîtes de zinc méditerranéens situés dans une zone où les mouvements tertiaires ont eu une influence prépondérante, quoique certains d'entre eux, comme au Laurium en Grèce, se trouvent dans des terrains considérés jusqu'à nouvel ordre

comme primaires et que d'autres, en Sardaigne, nous aient semblé d'âge hercynien.

La même succession se retrouve pour le *plomb*.

C'est ainsi qu'aux époques anciennes nous trouvons de la galène avec la blende d'Ammeberg, ou également en Suède dans le gisement de Sala. Des imprégnations plombifères de l'Afrique Centrale sont à classer dans le même groupe. Mais les deux principales venues sont : l'une permo-triasique, l'autre tertiaire.

C'est à l'une ou l'autre de ces périodes qu'il faut rattacher les gisements de la chaîne hercynienne : gisements pour lesquels on n'hésitait pas autrefois à admettre une succession de venues échelonnées depuis le permien et même depuis des périodes plus anciennes jusqu'à nos jours et qui peuvent, en effet, présenter une récurrence de venues tertiaires succédant à des venues permo-triasiques, puisque certaines métallisations de sédiments permien semblent prouver la destruction à cette époque de filons antérieurs déjà mis à nu et puisque, d'autre part, le contre-coup des mouvements alpins dans ces massifs antérieurs s'est fait sentir avec une évidente netteté.

Les filons plombifères du Plateau central, sont encaissés : ceux de Vialas dans le micaschiste et le granite, ceux de Pontgibaud dans le gneiss, etc. ; et leur prolongement vers Châteauneuf dans le

dinantien : ceux de Chabrignac (Corrèze) dans le permien ; ceux de Laval et Rouvergue (Gard) dans le trias. Ailleurs, comme dans la région de Confolens, dans la Lozère et le Gard, on trouve la galène, ainsi que la blende, imprégnant des terrains qui vont jusqu'à l'oxfordien.

En Bohême, la majeure partie des filons de Przibram est dans le silurien ; ceux de Freiberg recourent seulement le granite ; ceux de Clausthal, d'âge mieux caractérisé, traversent le dinantien, en respectant le permien ; ceux de Linarès en Espagne traversent le silurien et sont recouverts par un grès, peut-être triasique, etc.

L'âge tertiaire, qui peut être admissible pour certains de ces gîtes en massifs hercyniens, devient incontestable dans les zones influencées par les mouvements alp-himalayens, dans les Carpathes, dans l'Apennin, dans l'Atlas et surtout le long des chaînes ouest-américaines, particulièrement aux États-Unis et au Mexique, où se trouvent aujourd'hui quelques-unes des plus grandes mines de plomb argentifère du monde : Leadville, etc.

A Leadville (Colorado), les études de M. Emmons l'ont porté à admettre que le plomb provient d'une microgranulite tertiaire, avec laquelle les gîtes sont en contact ; à Euréka (Nevada), le dépôt de plomb paraît avoir suivi une éruption de rhyolithe.

J'ai dit que, d'une façon générale et dans un même plissement, les venues sulfurées de plomb et de zinc paraissent postérieures à celles d'étain. Cela résulte de l'examen d'un champ de filons complexe comme ceux de la chaîne hercynienne, où se trouvent à la fois des filons de ces divers métaux. Dans le Plateau Central, tandis que l'étain est lié à la granulite, dont le dinantien contient des galets, la galène s'est déposée sédimentairement dans les couches triasiques et ses filons, à Châteauncuf (Puy-de-Dôme), recouperont le culm dinantien; ailleurs même, des terrains plus récents. Dans le Cornwall, les mines d'étain semblent en moyenne plus rapprochées de l'axe de la chaîne que les mines de plomb.

L'argent, qui existe presque constamment dans la galène et subit, par suite, dans ce cas, la même loi que le plomb, ne paraît guère s'être isolé en gîtes spéciaux que par des altérations superficielles et des remises en mouvement secondaires. Les gîtes de sulfures complexes les plus riches en argent sont dans les chaînes hercynienne et tertiaire.

Enfin le mercure paraît être, parmi les produits solfataris, le plus récent. Nulle part, on n'a la certitude de son âge ancien, quoiqu'on doive supposer, par rapprochement avec les autres métaux, qu'il est apparu à diverses époques successives. Mais c'est surtout avec les plisse-

ments tertiaires qu'il est en relation nette : aussi, lorsqu'on indique ses gisements sur une mappe-monde, les voit-on dessiner, pour la plupart, les deux grandes chaînes des Alpes-Himalaya et des Andes.

En Europe, les mines d'Almaden et d'Oviedo (en Espagne), encaissées, les premières dans le silurien, les secondes dans le carbonifère ; les traces de mercure constatées dans la Manche ; les gîtes de la Bavière Rhénane et du Palatinat recoupant le permien, seraient peut-être l'indication d'une venue hercynienne.

Au contraire, on a, comme gîtes tertiaires, ceux de Vénétie et de Toscane ; d'Idria, Potosnik et Littai en Carniole (post-crétacés d'après l'étude des plissements) ; ceux de Serbie, de Perse, du Yangtschetiang, du Kamschatka.

Quant aux gisements américains de Californie et du Mexique, ils sont certainement post-miocènes, peut-être même post-pliocènes.

Nous avons laissé de côté jusqu'ici les métaux en relation directe avec les roches basiques sous la forme de ségrégations ou de dépôts immédiats. Ces métaux sont alors du même âge que la roche associée ; mais leur cristallisation en profondeur ne permet pas de déterminer bien exactement cet âge. Je parlerai seulement, à ce propos, du *cuiivre*, qui présente, en outre, d'autres gisements filoniens ou sédimentaires d'âge mieux défini.

Le cuivre, à l'état de chalcopyrite, se rencontre parfois en inclusions dans une roche comme le gabbro, l'euphotide, etc. Il est alors souvent accompagné de magnétite.

Ailleurs, un départ du métal s'est effectué au moment de la consolidation de la roche et l'on a des types de gîtes de contact, tels que ceux, bien connus, du Banat au voisinage des diverses roches (syénites, diorites, diabases, porphyrites, etc.) groupées sous le nom général de banatites ; tels encore que ceux de l'Oural auprès de syénites ; que ceux du Chili, près de diorites ; du Nassau, près de diabases ; de Norvège, près de gabbros.

Enfin le cuivre intervient, comme élément important, dans les remplissages sulfurés complexes.

L'âge des gisements de cuivre peut être très divers.

Au Lac Supérieur, on a affaire à une venue ancienne, probablement contemporaine de diabases précambriennes. Il est possible que les amas de pyrites de fer cuivreuses du Nord de la Scandinavie (Röros, Falun, etc.), intercalés dans les gneiss, soient du même âge, ainsi que les grands gisements de cuivre du Katanga, dans le Sud du Congo belge.

La venue calédonienne paraît représentée par les filons de cuivre du Cornwall, associés, comme on sait, aux filons d'étain.

Puis, la fin de la période hercynienne (permo-trias) est marquée par de très importants dépôts sédimentaires, qui sont :

Dans le rothliegende (saxonien), les grès cuprifères de Perm en Russie (oxyde de cuivre), et de la Bohême du Nord.

Dans le zechstein (thuringien), les schistes du Mansfeld (sulfure de cuivre), de la Westphalie et de la Hesse ;

Dans le werfénien, les grès rouges cuprifères du Cheshire en Angleterre, les grès à nodules plombifères et cuprifères de la Prusse Rhénane et de la Lorraine, peut-être les grès cuprifères des Alpes-Maritimes, du Cap Garonne en Provence, de la Navarre, de Minorque, etc.

Il existe, en outre, dans toute l'Europe, des filons du même âge contenant le cuivre associé au plomb et au zinc. En particulier, les grands amas de pyrite cuivreuse de la province d'Iluelva, reliés à une zone de diabases et porphyrites, traversent le carbonifère et sont antérieurs au trias.

Quant à la période tertiaire, elle est bien marquée en Europe par les gîtes du Monte-Catini en Toscane, de l'éocène supérieur ; par les minerais associés aux banatites du Banat, qui recourent le crétacé ; par les lentilles tertiaires du Caucase, intercalées entre deux coulées de dacite ; en Algérie, par les filons de Khéf-oum-The-

boul, ou de la région de Bougie ; en Amérique, par les filons de l'Arizona au contact d'un trachyte ; par les couches sédimentaires du Boleo (Basse-Californie), etc.

Le *fer*, que nous avons jusqu'ici laissé de côté, tient, dans la série des métaux, un rôle tout à fait spécial dû à son extrême diffusion dans l'écorce terrestre et à sa facile solubilité, qui le rapproche déjà des métaux alcalino-terreux ou des éléments des gangues. Sa remise en mouvement a été constante et la plupart de ses grands gisements sont des sédiments, qu'on trouve à peu près du haut en bas de l'échelle géologique. Cependant, ce métal existe aussi à l'état d'inclusions ou de ségrégations dans les roches et à l'état de filons : ces derniers paraissant le contenir en profondeur, soit à l'état de sulfure, soit à l'état de carbonate.

Ses inclusions et ségrégations ne se développent que dans les roches basiques, péridolites, gabbros, etc. ; ses gîtes filoniens sont rarement en rapport assez intime avec la roche mère pour qu'on puisse déterminer celle-ci ; cependant, on a des gîtes de contact auprès de syénites dans le Banat ou dans l'Oural, des amas sulfureux associés avec des diabases à Rio-Tinto. Mais surtout, chacune des principales phases de plissement a provoqué, par la destruction des chaînes orographiques résultantes, la mise en mouve-

ment et la sédimentation de grandes masses ferrugineuses (1).

A la phase la plus ancienne se rapportent sans doute les lentilles d'oligiste et de magnétite interstratifiées dans les gneiss et leptynites de Scandinavie, ainsi que les couches sédimentaires d'hématite rouge autour du Lac Supérieur et les grands amas de fer de l'Afrique Centrale.

Puis, à la phase calédonienne, les sédiments siluriens (ordoviciens) de Segré (Maine-et-Loire), de Saint-Remy (Calvados), de Nucic (Bohême), de Krivoirog (Russie) ; ceux gothlandiens du groupe de Clinton aux États-Unis.

La phase hercynienne serait représentée, indépendamment des grands amas de pyrite de fer d'Espagne qu'on peut rappeler à ce propos, par les amas de substitution dans le carbonifère du Cumberland, par les sphérosidérites ou « Kohleneisenstein » de la Ruhr, les « blackbands » des mines de houille anglaises.

Puis viennent les très nombreux sédiments ferrugineux du lias et du jurassique :

Dans l'hettangien, ceux de Mazonay en Saône-et-Loire et de la Côte-d'Or.

(1) Toute l'histoire des sédiments ferrugineux, envisagée dans ses rapports avec les phases de plissement et les progrès de l'érosion, se trouve résumée au Chap. XII de la *Science Géologique*, p. 474.

. Dans le sinémurien, ceux de Harzburg (Harz).

Dans le toarcien, ceux de Meurthe-et-Moselle, du Luxembourg, d'Alsace-Lorraine, de la Franche-Comté, du Cleveland, de Raasey.

. Dans le bajocien, ceux d'Isenay (Nièvre), du Poitou, du Wurtemberg, de la Haute Silésie, des environs de Cracovie, du Caucase.

Dans le callovien, ceux de la Voulte (Ardèche).

Dans l'oxfordien, ceux de Neuvisy (Ardennes).

Enfin, à l'époque éocène, l'abondance des produits ferrugineux, encore accrue à la surface par le remaniement de grandes masses rocheuses amenées au jour dans les premiers mouvements tertiaires, caractérise ce qu'on a appelé l'ère sidérolithique. Là ce sont des filons proprement dits, comme dans les Pyrénées ou sur la côte Sud-Est d'Espagne ; ailleurs, des gîtes de contact dans le Banat ; ou encore des produits de substitution dus à une altération superficielle en milieu calcaire comme à Bilbao (Espagne) ; ou enfin des concentrations superficielles amenant le dépôt de minerais oolithiques dans les poches du Berry, etc. .

. Il n'est, d'ailleurs, pas besoin de rappeler que des gîtes de fer se constituent chaque jour sous nos yeux par de simples actions de surface dans le dépôt des minerais de lacs et de marais.

33. Répartition des minerais dans le filon (zones parallèles, colonnes, lentilles, amas, etc). — On est assez volontiers disposé, quand on n'a pas visité une mine métallique, à s'imaginer un filon comme une sorte de mur de minerai, indéfini en profondeur ainsi qu'en direction et encaissé entre deux massifs de roche stérile dont il est nettement distinct. En réalité, il est loin d'en être ainsi et nous avons dit que la fracture était toujours sinueuse en direction comme en inclinaison, le vide composé d'une alternance de renflements et de rétrécissements, le passage de l'éponte au remplissage souvent progressif ; mais, en outre, dans ce vide déjà si irrégulier, la gangue stérile forme, à peu près toujours et de beaucoup, la plus grande masse et le travail du mineur, lorsqu'il ne s'agit pas d'une veine mince qu'on enlève tout entière, consiste aussi bien à poursuivre le minerai dans le filon que le filon dans la terre.

Ces minerais, ainsi disséminés, obéissent cependant à un certain nombre de lois, se répartissent suivant un certain nombre de types, qu'il est essentiel de connaître.

Le premier type et le plus simple, dont il existe des exemples classiques en Allemagne, c'est la disposition par *zones concrétionnées parallèles*.

Ces zones concrétionnées, dont la *fig. 3*, p. 85,

montre un type simple, peuvent être plus ou moins complexes. Le principe en est toujours, au moins en théorie, qu'à une zone d'une substance sur l'une des épontes, correspond une zone identique sur l'autre; c'est-à-dire que si, en allant du toit à l'axe, on a : blende, quartz, fluorine, pyrite, calcite, on retrouvera inversement, de l'axe au mur, calcite, pyrite, fluorine, quartz, blende. Dans l'axe, il reste souvent des vides non remplis représentant le reste de la fente primitive. Quand le filon contient une brèche, les mêmes zones se reproduisent autour de chaque fragment (*fig. 3*).

En pratique, il manque parfois totalement une des zones d'un côté ou de l'autre; en outre, la présence de réouvertures suivant un axe différent du premier a pu introduire des zones dissymétriques.

Souvent, le nombre des zones métallifères est très considérable : sur un échantillon du Harz qui existe à l'École des Mines, on peut compter plus de 8 zones de blende; 10 de pyrite de cuivre; 2 de galène; 2 de pyrite de fer, et 10 de calcite : ce qui suppose des modifications fréquentes dans la minéralisation des eaux.

Par exception, il est, au contraire, des gîtes uniquement composés d'une seule substance; c'est ainsi que l'amas de Rio-Tinto (Espagne), sur 100 mètres de large, est uniquement composé

de pyrite massive semblable d'un bout à l'autre et sans trace de concrétions.

A côté de ce premier type régulier, où le minéral s'est incrusté par zones parallèles, il est, particulièrement dans les filons plombifères, une disposition très fréquente : c'est la concentration des minerais en *lentilles* ou *colonnes* inclinées ou droites, colonnes sujettes à se réunir, à se bifurquer en profondeur comme à disparaître progressivement et devenant, dans ce cas, de véritables amas. Il est rare, lorsqu'on examine la coupe longitudinale d'un grand filon, qu'on ne voie pas, par le simple tracé des galeries de dépilage, se dessiner de semblables colonnes d'enrichissement. On peut supposer que leur présence doit correspondre au mode de venue des eaux métallifères et on s'en fait une idée en observant le griffon d'une source sortant d'un filon comme celle de Bourbon-l'Archambault (Allier) ; on voit, en effet, à Bourbon, que les eaux ne sourdent pas également tout le long de la fracture, mais bouillonnent surtout en deux ou trois points de moindre pression.

Étant donné le plan d'un filon, les colonnes y suivent parfois la ligne de plus grande pente ; parfois aussi, elles plongent, soit d'un côté, soit de l'autre. Une semblable disposition lenticulaire existe dans le Harz ; à Kleinkogl, dans le Tyrol ; au Comstock (Nevada) ; à Pontgibaud

(Puy-de-Dôme); à Linarès (Espagne); à Iluan-chaca (Bolivie); à Khéf-oum-Theboul (Algérie), etc. Bien qu'on ait été souvent tenté d'attribuer à ces lentilles métallisées une loi de répartition théorique et, par exemple, un certain parallélisme, qui aurait facilité leur recherche industrielle, les lois émises à cet égard et souvent admises avec foi par les mineurs paraissent d'une exactitude bien problématique.

La disposition en amas d'enrichissement, ou *bonanzas*, est particulièrement nette dans les gisements qui ont subi une altération et une concentration secondaires, avec accumulation de métaux sur certains points de dislocation. Il suffira de citer les bonanzas du fameux filon du Comstock (Nevada).

Enfin, on peut avoir affaire à des lentilles de petites dimensions, passant à des *nodules* et à des *mouches*. C'est souvent le cas pour la galène au milieu du quartz. La stibine existe aussi dans les mêmes conditions.

34. Succession des divers remplissages dans certains champs de fractures. Influence des croiseurs. — L'étude d'un filon concrétionné permet d'établir un certain ordre dans la succession des diverses venues métallifères, qu'on y constate des éponges au centre; l'examen d'un champ de fractures, avec les filons de direction différente qui se recoupent l'un

l'autre, et l'allure des remplissages aux points d'intersection donne le moyen d'aller plus avant dans la même voie. Ce genre d'observations a été poussé très loin dans les régions minières classiques de l'Allemagne : la Saxe, la Bohême, le Harz, etc. Il peut y avoir quelque intérêt à en rapprocher les résultats, bien que leur valeur soit surtout locale et qu'en changeant de région, on perde le droit de les appliquer.

L'ensemble de la *Saxe*, de toutes ces régions la plus compliquée, a paru indiquer la succession générale suivante :

1° Filons de quartz stannifère de Geyer, Graupen, Zinnwald, Schlaggenwald, etc.

2° Filons de galène anciens de Freiberg et Marienberg.

3° Filons de galène avec barytine et fluorine d'Annaberg.

4° Filons sulfurés jeunes cobaltifères et argentifères de Schneeberg (peut-être attribuables à des réactions secondaires).

5° Filons à remplissage argentifère récent de Joachimsthal avec cobalt, urane, etc.

En un seul centre, comme *Freiberg*, on peut retrouver la superposition de toutes ces venues avec prédominance de la venue de galène ancienne, qui elle-même comprend un certain nombre de types, tels que :

L'*Edlequartz formation*, composée de quartz

avec galène contenant jusqu'à 5 millièmes d'argent et traînées de mispickel, blende brune, tétraédrite, etc. ;

La *Kiesige formation*, avec quartz, galène, blende et dolomie fréquente, mais sans les minéraux argentifères de l'edlequartz ;

L'*Edlebraunspath formation*, avec des sulfures de plomb et zinc du quartz, des carbonates de fer et de manganèse, de la dolomie, etc.

Enfin, dans un filon même comme ceux de *Brand*, on peut retrouver la succession suivante, indiquée par Weissenbach :

1° Quartz dominant avec mouches de pyrite, blende, galène et mispickel, d'une teneur en argent moyenne.

2° *Dialogite* et *braunspath* avec sulfures riches en argent et minerais d'argent proprement dits.

3° *Sidérose*, fluorine, barytine, avec galène peu argentifère disséminée dans la barytine.

4° *Calcite*, parfois avec minerais d'argent riches.

A *Przibram*, d'après Reus, on a :

1° Blende, galène, quartz et sidérose ;

2° Sulfures de cuivre, cobalt, etc., avec minéraux d'argent ;

3° Barytine, calcite, braunspath, etc., avec minerais d'argent riches.

Dans le *Harz*, d'après von Groddeck, la succession est ;

1° Quartz avec galène, se chargeant peu à peu de blende ;

2° Calcine et barytine.

En *Hongrie* également, on a d'abord du quartz et des sulfures, puis des carbonates.

A *Wittichen*, dans la Forêt Noire, la succession est, d'après Sandberger :

1° Quartz avec argent natif et galène (Edlequartz) ;

2° Barytine et fluorine avec minerais de cobalt, nickel, cuivre, bismuth ;

3° Braunsparth et calcite avec minerais d'argent riches.

Enfin, à *Rodna*, en Transylvanie, Poszepny a observé :

1° Pyrite de fer et quartz ;

2° Galène, blende et mispickel ;

3° Dolomie et calcite.

Toutes ces observations seraient à reprendre en ayant l'attention attirée sur le rôle des réactions secondaires anciennes, dont les produits sont passés au-dessous du niveau hydrostatique actuel par l'effet des dénivellations tectoniques : réactions, qui n'ont pas été prises en ligne de compte et qui ont dû pourtant jouer un grand rôle dans la formation des minerais d'argent proprement dits et des carbonates. Si l'on se tient à l'ordre apparent résultant des énumérations

précédentes, on croit observer, avec une certaine concordance, la succession suivante :

Quartz et étain ; quartz et mispickel ; quartz et pyrite de fer ; quartz avec galène, puis blende ; barytine et fluorine avec galène ; barytine avec minerais de cobalt, nickel, etc. ; carbonates (calcite, dolomie, sidérose, dialogite, etc.).

Si l'on admet cette loi de succession comme réelle et si on en cherche la cause, on peut imaginer assez bien qu'un refroidissement progressif et l'ordre correspondant des fumerolles chlorurées, puis sulfurées, puis carbonatées, aient amené la cristallisation du quartz stannifère, puis des sulfures, puis des carbonates.

En dehors des altérations secondaires et des remises en mouvement, les études de ce genre sont toujours rendues assez délicates par les phénomènes complexes qui se produisent à l'intersection de deux cassures. Une fracture, qui en rencontre une autre obliquement, a, en effet, pour conséquence fréquente, de rouvrir la première sur une certaine longueur, en sorte que son remplissage y pénètre et qu'un examen incomplet pourrait faire croire les deux filons contemporains. D'autre part, les eaux métallifères, amenées par ce second filon au contact des minerais du premier, ont pu exercer, sur ceux-ci, une redissolution partielle, suivie d'une concen-

tration de certains éléments par recristallisation. Parfois encore, un filon, coupé par une faille, est localement entraîné le long de cette faille et présente ainsi des éléments de filon allongés suivant la faille, tandis que, dans le cas inverse, si le filon est postérieur à la faille, il l'a souvent suivie un certain temps : ce qui rend les deux cas difficiles à distinguer.

35. Variations originelles du remplissage filonien en direction et en profondeur. Influence des roches encaissantes. Types régionaux de gîtes métallifères. Rôle des érosions plus ou moins avancées. — Les variations des filons en direction sont généralement assez faciles à suivre en pratique sur les affleurements dans chaque cas déterminé. Pour les variations en profondeur, on est, au contraire, obligé, si l'on ne veut faire des recherches coûteuses, de se fonder plus théoriquement sur ce que l'expérience a appris des gîtes similaires et sur ce que le raisonnement permet d'en conclure. Aussi les lois relatives à ce dernier genre de variations, lois dont la connaissance amène à prévoir certaines éventualités favorables ou défavorables, sont-elles tout spécialement intéressantes à étudier.

Les *variations en direction*, en dehors de la disposition en colonnes ou en amas étudiée au paragraphe précédent, dépendent le plus souvent

de l'influence mécanique ou chimique des terrains encaissants (1).

- Pour l'action mécanique, je rappellerai seulement ce qui a été dit au § 18 : les roches de résistance moyenne constituent généralement des zones favorables. On doit, en outre, remarquer que la rencontre d'une fracture transversale donne habituellement un point d'enrichissement ; même lorsque le filon est postérieur, il a parfois provoqué une sécrétion plus ou moins récente ayant amené, s'il s'agit d'une galène argentifère, la concentration de l'argent. D'une façon plus générale, à Freiberg, d'après von Beust, toute zone de ramifications transversales enrichit un filon à sa rencontre.

Quant à l'influence chimique, elle est surtout marquée par suite des phénomènes d'altération secondaire, quand un filon sulfuré passe d'une roche inattaquable dans un calcaire ; il se produit toujours, en ce point, un élargissement, en même temps que la nature du minerai change ; peut-être y a-t-il eu quelquefois, dès le dépôt primitif des filons, une action du même genre.

D'autre part, il arrive qu'un filon s'appau-

(1) Il existe cependant de nombreux cas, où la nature du métal dominant change dans la longueur du filon, indépendamment des épontes : d'un côté, on a de la galène argentifère, ailleurs de la blende, ou de la pyrite aurifère, ou de la chalcopyrite.

vrisse en passant d'une roche éruptive à un terrain sédimentaire : mais on rencontre également le phénomène inverse et les deux cas contradictoires se sont présentés, par exemple, à Linarès en Espagne, dans un espace restreint.

Parfois une roche encaissante se trouve encore exercer une action d'enrichissement assez mystérieuse, due, soit à une action chimique de ses minéraux sur les éléments dissous dans les eaux, soit à une action physique de porosité, de conductibilité thermique, soit à un phénomène électrique, soit peut-être plus encore à une altération secondaire ayant provoqué une véritable sécrétion latérale.

L'exemple le plus connu que l'on puisse citer est celui des filons d'argent de Kongsberg, qui ne s'enrichissent qu'à la rencontre de zones pyriteuses dites *fahlbandes* ; de même, à Schladming en Styrie, des filons de cuivre gris, *mispickel* et minerais d'argent se resserrent à la rencontre de *fahlbandes* analogues (appelées là *brande*) et se chargent de nids de nickel. On s'est demandé très logiquement, si les métaux ainsi développés à la rencontre de ces zones favorables ne leur avaient pas été empruntés.

La même explication vient naturellement à l'esprit dans le cas du Mansfeld, où les failles qui rejettent la couche cuivreuse sont parfois chargées, à la rencontre de cette couche, de

nickel et de cobalt, dont la couche elle-même renferme des traces.

D'autre part, H. Müller a cru pouvoir admettre que le gneiss gris de l'Erzgebirge saxon était favorable à la minéralisation, le gneiss rouge défavorable. La cause en serait, d'après Th. Scheerer, dans le mica très ferrugineux des gneiss gris.

Enfin, dans les gisements de cuivre du Lac Supérieur, qui, sous leur forme actuelle, paraissent avoir subi l'influence prépondérante de remises en mouvement très anciennes, on a attribué de même un rôle dans la précipitation du cuivre natif à la magnétite, abondamment contenue dans certaines roches encaissantes.

Les *variations en profondeur* doivent être divisées, au moins théoriquement, en deux catégories : celles qui sont originaires et datent du remplissage même ; celles, beaucoup plus fréquentes, qui sont secondaires et localisées à une faible distance de la surface actuelle, en général au-dessus du niveau hydrostatique de la région. Dans ce chapitre, il ne sera question que des premières.

Parmi les variations primitives, je rappellerai ce qui a été indiqué au § 33 sur les parties riches des filons : tout ce que nous venons de dire sur les variations en direction s'applique également aux variations en profondeur : ren-

contre de fractures transversales, élargissement à la rencontre de calcaires, passage d'une roche à une autre, intersection d'une fahlbande. Mais, en outre, on prévoit en théorie et l'on constate peut-être accidentellement dans la pratique, des modifications tenant à la profondeur originelle de la zone considérée au moment où le filon s'est incrusté ⁽¹⁾. Nous avons vu, en effet, au § 31, que la zone d'incrustation métallifère a dû être limitée par en haut et par en bas et, quoique les profondeurs atteintes dans nos travaux de mine soient bien insignifiantes, il peut arriver par hasard que la superficie actuelle, à partir de laquelle commencent nos exploitations, se trouve très voisine de cette limitation en profondeur et que celle-ci soit dès lors atteinte dans les travaux. Peut-être faut-il songer à une raison dans ce genre quand on voit, dans une région déterminée, comme cela paraît se produire autour de Linarès en Espagne, les filons de plomb se terminer tous assez vite en profondeur. Cependant, pour la plupart des mines, une telle considération ne saurait intervenir et, si l'appauvrissement profond des mines semble la règle normale ⁽²⁾, il faut se rappeler que les consi-

(1) Voir sur cette question : *Variations des gîtes métalliques en profondeur*, Revue générale des Sciences, du 5 mai 1900 et *Science géologique*, p. 622 à 625.

(2) L'appauvrissement général et nécessaire des filons

dérations industrielles, nécessairement toujours présentes à l'esprit des mineurs, introduisent dans la question des éléments scientifiquement inexacts; on conçoit, en effet, qu'à richesse constamment égale, un gîte devient progressivement inexploitable à mesure que l'on s'enfonce, puisque les frais augmentent et, par suite, il passe pour s'appauvrir.

De plus, tandis que les filons de fracture proprement dits doivent, selon toute apparence, présenter, en coupe comme en plan, des successions d'élargissements et d'étranglements, on est souvent conduit, pour ne pas faire de recherches coûteuses, à s'arrêter en profondeur à un de ces étranglements et à admettre que le gîte finit là. Les notions précieuses que nous donne l'étude des fentes en direction montrent même que, sur un système de fractures prolongé, la fissure peut disparaître complètement sur un intervalle assez long. En profondeur, il faut toujours supposer qu'il a existé une place pour la colonne d'ascension des eaux minéralisatrices; mais ces eaux n'ont pas nécessairement monté par toute la longueur de la fracture et, lors même qu'on trouverait, sur une certaine distance en direction, un

en profondeur est un préjugé très répandu, dont on a essayé quelquefois de déduire des conclusions théoriques: en particulier, le remplissage des filons par en haut.

arrêt complet dans le filon, il ne faudrait pas en conclure que celui-ci s'interrompt définitivement au-dessous.

Malgré ces remarques générales, je vais, en raison de l'intérêt du sujet, grouper ici quelques exemples, d'ailleurs assez vagues et souvent contradictoires, de variations primitives en profondeur.

Un fait souvent constaté dans le remplissage de divers filons, c'est la disparition assez prompte de la baryte, les gangues quartzeuses tendant à dominer, lorsqu'on s'enfonce.

On peut citer le cas des filons d'argent du Sarabus en Sardaigne, où la barytine, qui accompagnait le quartz à la surface, a cessé assez vite. Dans les filons de cuivre gris argentifère de Huanchaca en Bolivie, la barytine a existé sur une centaine de mètres de hauteur ; au-dessous, la gangue est devenue quartzeuse, etc. De semblables exemples sont fréquents. Cependant, à Freiberg en Saxe, la formation dite *barytischeblei* ne disparaît pas, et à la Sierra Almagrera en Espagne, le remplissage semble également rester barytique lorsqu'on s'enfonce.

Dans certaines mines, on a cru observer, de même, une disparition de la galène en profondeur ; ainsi à Vialas (Lozère), à Pontgibaud (Puy-de-Dôme), à Peñaroya (Espagne), on a un appauvrissement notable vers 200. mètres ; à

Huelgoat et Poullaouen, J. Pernollet (1), en représentant par des diagrammes les variations des longueurs exploitables comptées suivant chaque niveau, a cherché à montrer également que ces longueurs décroissaient rapidement et, par cette méthode, il était arrivé à conclure la généralité de cette loi ; mais ainsi que l'a montré M. Lodin (2), les longueurs exploitées ne sont plus faibles en profondeur que parce que les recherches devenant plus difficiles, toutes les parties du gîte sont moins bien connues et, si on étudie, au contraire, le rapport des longueurs exploitables aux longueurs des travaux de recherches à divers niveaux, on voit que ce rapport subit des oscillations sans aucune loi. D'une façon générale, il est probable que des appauvrissements semblables correspondent simplement à des zones pauvres, pouvant être suivies par une nouvelle zone riche ; car, au Harz et à Przibram, on a trouvé, au contraire, dans des parties très profondes, une recrudescence de richesse et Freiberg a passé longtemps par des alternatives du même genre (3).

(1) *Annales des Mines*, 4^e, t. X, (1846), p. 420 et 450.

(2) *Annales des Mines*, 9^e, t. I, Avril 1892.

(3) Il faut faire attention, lorsqu'on étudie les rendements à la tonne des minerais extraits à diverses époques de l'exploitation d'une mine que, souvent, à mesure que la mine devient plus ancienne, des procédés

A Pontpéan (Ille-et-Vilaine), l'épaisseur réduite moyenne du filon de galène a été : de 6 centimètres en 1873 ; 4,2 en 1876 ; 7,6 en 1882 ; 5,4 en 1885 ; 6,1 en 1887.

Ailleurs, sur un gisement qui paraît dû à une altération secondaire ancienne, le filon de Kongsberg (Norvège) découvert en 1623, a eu une grande richesse vers 1750, puis une décroissance de 1750 à 1805, une période plus prospère vers 1830, une baisse de 1830 à 1876, une reprise de 1876 à 1884.

Sur le filon de mercure d'Idria, on a eu, au contraire, un enrichissement progressif jusqu'à 350 mètres, par suite d'une augmentation constante des dimensions du gisement.

Un autre cas, souvent cité, des variations en profondeur, c'est celui des filons de cuivre et d'étain ; mais, là aussi, il ne semble pas qu'il y ait de conclusion absolue à en tirer.

D'après Gaetschmann, beaucoup de filons des environs de Seiffen, dans l'Erzgebirge saxon, renferment près du jour des minerais d'étain, plus bas des minerais d'étain et de cuivre, plus bas encore des minerais de cuivre, seulement.

Dans le Cornwall, on a cru, quelque temps observer le même phénomène ; en effet, au-

dés plus perfectionnés permettent de traiter, donc d'extraire des minerais plus pauvres : d'où une diminution apparente dans la teneur.

dessous de certains chapeaux de fer (gossan) résultant d'actions superficielles sur les sulfures et riches en étain oxydé, le cuivre, par un phénomène tout secondaire, semblait augmenter. Plus bas, au contraire, on l'a vu vers 1870, disparaître et faire place à l'étain. L'évolution dans la composition du gîte s'est produite à Dolcoath et dans diverses mines du district de Camborne et Redruth entre 350 et 450 mètres ; au-dessous et jusqu'à 625 mètres, on n'a plus eu que de l'étain.

Ailleurs, dans l'Oberharz, on observe, d'après von Groddeck, que la blende augmente en profondeur, refoulant de plus en plus la galène. On pourrait également citer des cas du phénomène inverse.

La conclusion générale est donc que, sur les faibles hauteurs de nos travaux de mines, les variations primitives du dépôt interviennent à peine et c'est aux variations secondaires, déjà indiquées au § 10 et sur lesquelles nous allons revenir plus loin au § 38, que l'on doit attribuer les changements habituels et réguliers de la minéralisation en profondeur. Mais si cette question de la profondeur originelle conduit à peu de conclusions pratiques pour un gisement déterminé, elle prend une grande importance en ce qui concerne les *types régionaux de gîtes métallifères*. Ce type régional, qui distingue si im-

médialement un gîte scandinave, un gîte du Plateau Central et un gîte algérien, doit être en grande partie fonction de la profondeur et l'on peut concevoir une coupe théorique, où un gîte algérien superficiel passerait plus bas à un gîte du Plateau Central et, plus bas encore, à un gîte scandinave.

36. Affinités de certaines substances entre elles. Associations minérales. — Il existe, dans les filons, comme d'une façon générale dans les gisements de minéraux quelconques, certaines associations caractéristiques et constantes, qui nous éclairent sur le mode de formation du remplissage.

Ces associations peuvent être originelles ou dues au métamorphisme (immédiat ou secondaire).

Comme types d'*associations originelles*, citons le groupement constant des minerais dans les filons d'étain : cassitérite, quartz hyalin riche en inclusions liquides, mica fluoré et lithinifère, mispickel, wolfram, bismuth, molybdénite, apatite et phosphates complexes tels que la montbrasite, la turquoise, etc. ; émeraude ; accessoirement, chalcopryrite, tourmaline, fluorine. L'association de ces minéraux granulitiques, qu'on a reproduits synthétiquement par des réactions fluorées, parait tenir à l'origine même des filons d'étain.

Il en est de même de l'association constante des sulfures de plomb, de zinc et de fer, de la présence de l'argent dans la galène, de l'argent dans l'or ; du rapprochement entre le platine et l'or ; entre l'or et divers minéraux où entrent le selenium et le tellure ; entre la magnétite, le fer chromé, le nickel et le platine, etc. Le fer va avec le manganèse ; le nickel avec le cobalt ; le platine avec le palladium, le rhodium, l'iridium, etc. ; d'une façon moins nette, il paraît y avoir connexion fréquente entre la magnésie et le cuivre ; entre la baryte et le plomb (dont les sels sont isomorphes) ; entre la calcite et l'argent⁽¹⁾ : entre l'or et le quartz, etc.

Cette question des associations minérales est fort intéressante et demanderait plus de développements que je ne puis lui en consacrer ici. On peut seulement dire en résumé que les métaux ne sont pas précisément groupés suivant l'ensemble de leurs propriétés chimiques et physiques, mais suivant quelques-unes principales, telles que leur oxydabilité et le degré de basicité de leurs oxydes, leur solubilité à l'état de chlorures ou de sulfures (dans ce dernier cas, soit

(1) A Kongsberg, au Sarrabus, à Leadville, Eureka, etc. ; mais l'argent est, d'autre part, associé au quartz au Comstock, au Mexique, etc., et les gîtes où il se trouve avec la calcite semblent, pour la plupart, des gîtes altérés.

dans l'eau directement, soit dans un sulfure alcalin), leur poids atomique, etc.

Quant aux *associations par métamorphisme immédiat*, elles résultent de l'action exercée par certains minéralisateurs filoniens sur les roches des éponges.

C'est ainsi que l'étain sera associé avec des granulites métamorphiques dont le feldspath a disparu et le mica s'est chargé de fluor, avec des greisen, zwitter, etc. Des eaux ferrugineuses chaudes, arrivant sur des bancs calcaires légèrement siliceux, ont pu amener la formation, à côté de la magnétite, du grenat, du pyroxène et de la calcite ; la réaction de la chaux sur du fer titané aura donné du fer oxydé et du sphène, etc.

Enfin le *métamorphisme secondaire* a amené des groupements minéralogiques qui vont être étudiés à l'occasion des variations du remplissage en profondeur (§ 38), telles que la réunion des oxydes, carbonates et chlorures de plomb, cuivre, fer, etc., et de l'argent natif dans les parties hautes, avec passage, plus bas, aux sulfo-antimoniures et, en profondeur, aux sulfures, etc., telles encore que l'association de calamine et de gypse en terrain calcaire.

37. Gites d'imprégnation. — Les *imprégnations* postérieures, s'étendant à toute une strate poreuse et particulièrement gréseuse, sont,

comme je l'ai dit, rendues très vraisemblables par l'épanchement en nappes horizontales de sources minérales actuelles arrivées par des filons. Il est probable que souvent on a dû considérer de tels gîtes comme des dépôts contemporains des couches encaissantes et sédimentaires.

La présence de fossiles minéralisés, chargés de pyrite ou d'autres sulfures métalliques ne serait pas une preuve absolue de cette minéralisation postérieure si ces fossiles pyritisés étaient isolés au milieu d'une couche stérile, puisque nous savons combien se produit aisément, sous l'action des matières organiques, la précipitation de certaines substances minérales disséminées en faibles quantités dans les eaux. Mais, lorsqu'on trouve un fossile au milieu d'un véritable amas de pyrite, on doit bien supposer que l'animal n'a pas vécu dans des eaux assez chargées de sulfures pour produire un tel dépôt.

L'imprégnation peut, d'ailleurs, être en relation avec des fractures minéralisées traversant des couches plus récentes que celles imprégnées : ce qui permet de préciser le phénomène. On est fixé lorsqu'on trouve des imprégnations dans divers niveaux perméables superposés, tandis que la localisation des minerais à un niveau unique dans une région étendue laisse supposer leur formation contemporaine de celle des sédiments.

Je me contenterai de signaler, comme un cas très probable d'imprégnation, le gîte cinabrifère d'Almaden, où ce phénomène a porté sur trois couches de quartzite verticales. On a pu penser à interpréter de cette manière certains gîtes sulfurés à allure sédimentaire, tels que les schistes cuprifères du Mansfeld ou les poudingues aurifères du Witwatersrand.

CHAPITRE VII

—

GÎTES D'ALTÉRATION ET DE REMISE EN MOUVEMENT

38. Modifications chimiques postérieures à la formation du gîte. Altérations superficielles. Remises en mouvement. Rôles des milieux calcaires. Variations secondaires en profondeur. Cas de divers métaux. — Les phénomènes, qui sont à étudier dans ce chapitre et dont j'ai signalé à diverses reprises l'importance pratique tout à fait essentielle, ont déjà été indiqués en principe au § 10 et j'ai montré également au § 28 comment on pouvait interpréter l'origine des gisements remaniés qui en résultent. J'ai dit alors d'après quelles règles générales avait dû se faire l'altération des minerais. Avant d'insister sur quelques points de détail, il convient de mettre en évidence le rôle des *remises en mouvement*, qui ont donné lieu à tant d'interprétations théoriques erronées aussi bien qu'à tant d'illusions industrielles. On a trop souvent supposé que ces mi-

nerais, une fois déposés, avaient dû rester immuables et immobiles, en même temps que l'on oubliait les modifications introduites dans la superficie par les mouvements tectoniques aussi bien que par l'érosion : d'où cette conclusion fautive que, là où nous voyons des stalactites de calamine, la calamine est arrivée d'en haut dans une grotte ; que, lorsque de la blende empâte des os de chauve-souris, la venue zincifère est d'âge quaternaire ; que, si une eau minérale circulant dans un filon de fluorine et galène contient des traces de fluor et de plomb, c'est que le phénomène d'incrustation se poursuit et que les eaux continuent à apporter de la profondeur du fluor et du plomb comme autrefois, etc.

On oublie combien facilement les minéraux, même réputés insolubles, se dissolvent sous l'action prolongée d'eaux chaudes chargées de carbonates alcalins ; la cristallisation récente de silice dans les fissures glaciaires des gorges du Trient, la précipitation de galène, de cérusite, de blende, de calamine, de cuivre natif sur des bois de mines montrent jusqu'à l'évidence que, même des eaux froides et à la pression ordinaire peuvent, sous nos yeux, prendre en un point des éléments de remplissage filonien, tels que la silice, la galène, la blende et, plus aisément encore, la pyrite, la chalcopyrite, l'oxyde de fer, pour les redéposer un peu plus loin. Du moment

que l'on fournit aux eaux superficielles et surtout aux eaux thermales les éléments métalliques qui leur manquent, il se produit très aisément, (comme on l'a vu sur les médailles et barres de fer de Bourbonne, Bourbon, etc.), des minerais de filons.

Mais ces eaux superficielles ne font que déplacer les métaux d'un point à un autre, elles les concentrent et ne les créent pas. L'origine première de ces métaux est ailleurs, elle est plus profonde, ainsi que j'ai essayé de le montrer dans tout cet ouvrage ; les types de gisements que nous envisageons ici, ne sont donc que des gisements secondaires.

Pratiquement, j'ai déjà dit, et l'on comprend aussitôt, combien il est indispensable de connaître les lois théoriques auxquelles ces altérations superficielles et ces remises en mouvement peuvent être soumises, afin de prévoir, d'après l'affleurement ou les parties hautes d'un gisement, dans le cas presque constant où ce gisement a subi une altération postérieure, ce qu'il pourra devenir en profondeur. Ces lois, dont nous avons vu le principe au § 10, il nous reste à en examiner l'application pour quelques-uns des métaux les plus importants : fer, cuivre, zinc, plomb, argent et or.

Si nous commençons par le *fer*, on peut distinguer deux cas, suivant qu'il se trouve en

profondeur à l'état de carbonate ou de sulfure, la présence du carbonate pouvant elle-même être le résultat d'un premier stade dans l'altération. Dans les deux cas, on a, au-dessus du niveau hydrostatique, de l'hématite rouge ou de l'hématite brune. Sur les amas pyriteux, ce *chapeau de fer* a souvent de grandes dimensions et les mineurs, qui en rencontrent un semblable à la surface, le considèrent comme l'indice d'un gîte métallifère important, quoiqu'il ait par lui-même peu de valeur. Nous citerons les amas pyriteux si considérables de la province d'Iluelva (Espagne), où l'enlèvement de ce chapeau de fer, réalisé pour pouvoir exploiter à ciel ouvert, a nécessité des travaux très coûteux ; sur les filons carbonatés, la partie oxydée superficielle est, au contraire, la partie riche du filon, le carbonate de fer étant un minerai de second ordre.

L'existence de sulfures ou de carbonates profonds ayant par leur altération donné des hématites superficielles est un phénomène beaucoup plus fréquent, qu'on ne le croit, et dont on retrouve de plus en plus d'exemples, depuis que l'attention a été attirée sur lui, bien qu'industriellement on aime peu à le constater. On le reconnaît, par exemple, aujourd'hui pour beaucoup de sédiments oolithiques, dont la forme première paraît avoir été carbonatée.

J'ai dit que le carbonate lui-même pouvait

n'être déjà qu'un premier produit d'altération (dans la zone de cémentation, située au-dessous de la zone de peroxydation caractérisée par les hématites). Cela se produit en milieu calcaire, où ce carbonate est souvent dû à la transformation de pyrites plus profondes, ayant agi par double réaction et substitution sur le carbonate de chaux.

Il est rare que le sulfure de fer ne soit pas accompagné d'autres sulfures. Lorsqu'il se trouve du cuivre avec lui, le sulfate de cuivre, produit par les eaux en même temps que le sulfate de fer, est dissous et entraîné, tandis que le sulfate de fer, passant à l'état de sulfate de peroxyde, donne un précipité ferrugineux. Le cuivre manque donc aux affleurements, à moins qu'un milieu calcaire n'ait amené son dépôt en carbonates.

S'il y avait des traces d'or dans la pyrite, comme cela est fréquent surtout dans les pyrites arsénicales, cet or insoluble reste tout entier dans le résidu et l'on a des ocres ou hématites aurifères, qui peuvent former un minerai riche, un minerai concentré, dans la zone de cémentation : toutes les parties plus profondes étant, pour l'or, inexploitable. Nous reviendrons sur ce point en parlant de l'or.

Passons au *cuivre*. Nous venons de dire un mot de ce qui se passe pour les pyrites de fer

civreuses et nous avons vu que la zone extérieure d'hématite était appauvrie en cuivre ; souvent, par un phénomène que l'on réalise artificiellement dans la cémentation et qui s'est reproduit naturellement sur les médailles tombées dans les sources de Bourbonne et Bourbon, il existe, au dessous de cette zone stérile, une zone où le cuivre s'est, au contraire, concentré.

Il a été rappelé au § 6 que, sur les médailles en question, on constatait, du centre à la surface, du cuivre pyriteux, du cuivre panaché, de la chalcosine, du cuivre gris, du cuivre oxydulé, de l'oxychlorure et du silicate de cuivre. Cette observation permet d'expliquer ce qui se passe pour les gîtes cuprifères et spécialement les gîtes de cuivre gris.

On y rencontre, en effet, lorsque la série est complète, à partir de la surface : des minerais oxydés ou carbonatés, parfois chlorurés, accompagnés d'argiles ferrugineuses ; puis un cuivre gris argentifère (à l'occasion, avec chalcosine et cuivre natif) ; de la phillipsite ; enfin de la chalcopyrite, qui peut elle-même passer à la pyrite de fer civreuse ; d'où cette loi générale que les filons de cuivre gris (recherchés à cause de leur richesse fréquente en argent) s'épuisent en profondeur.

Pour les gîtes de *zinc* et de *plomb*, le métamorphisme consiste essentiellement en une

transformation des sulfures (toujours dominants dans les parties profondes) en carbonates et comporte fréquemment une substitution de ces carbonates aux calcaires encaissants.

Cette transformation est, en effet, particulièrement caractérisée dans les terrains calcaires, où elle a pour conséquence la formation d'amas calaminaires et, plus rarement, de dépôts de cérusite. A la surface, la plupart des filons de galène et de blende, en terrain quelconque, ont perdu beaucoup de leurs éléments métalliques, et surtout de leur blende; on a alors fréquemment des enduits de calamine; mais le phénomène ne prend de réelle importance que dans les calcaires, où la circulation particulièrement facile des eaux superficielles dans les fissures nombreuses des strates, ainsi que leur action chimique ont provoqué la formation des amas calaminaires. La calamine, qui est blanche dans la zone de cémentation, est rougie dans la zone d'oxydation superficielle par l'abondance du peroxyde de fer; elle est souvent accompagnée d'une argile rouge, résidu de la dissolution du calcaire encaissant, auquel le carbonate de zinc s'est substitué. Pour la galène, moins altérable parce que son sulfate et son carbonate sont moins solubles, le phénomène est plus rare. Il se produit pourtant de grands dépôts de cérusite avec anglésite accessoire.

Quand la galène est argentifère, comme c'est le cas habituel, son altération en carbonate a souvent amené une dissolution partielle de l'argent inclus, en sorte que les carbonates de plomb superficiels sont, en principe, plus pauvres en argent que les sulfures profonds.

Par contre, si la galène est associée, comme c'est le cas fréquent, avec des sulfures de fer et de zinc, ces sulfures laissent, en se dissolvant, presque tout le peu d'argent qu'ils pouvaient contenir sur la galène moins attaquable qu'eux et sur le carbonate de plomb. Une partie de l'argent dissous, entraînée par les eaux d'infiltration, descend également, suivant le plan du filon même, pour se précipiter à une certaine profondeur sur les sulfures intacts et constituer là une zone locale d'enrichissement dans la zone de céméntation.

Dans les filons d'*argent*, l'ordre de succession des minerais est tout particulièrement caractérisé en Amérique. Voici comment il se présente au Mexique, au Pérou et au Chili.

Au *Mexique*, on trouve d'abord, à la surface, de l'argent natif avec des oxydes de fer ou de manganèse, au milieu d'une gangue de quartz carié ;

Au-dessous, viennent des bromures et chlorures d'argent avec argent natif et mêmes oxydes de fer et de manganèse. La richesse dans ces

deux premières zones, qui correspondent à l'oxydation superficielle, est, le plus souvent, assez médiocre. En descendant, ces espèces cessent; l'argent sulfuré prédomine avec le sulfure antimonie noir et forme une zone de richesse maxima, nommée *bonanza*.

Enfin, à une profondeur plus grande, ces minéraux riches deviennent plus rares et sont remplacés par de l'argent antimonie sulfuré noir, puis par les argents rouges. Peu à peu, les espèces cuivreuses, la blende, etc., apparaissent et, quand on dépasse la zone de cimentation, le remplissage en profondeur devient définitivement, vers 450 à 500 mètres, un mélange pauvre de blende, pyrite de fer et de quartz.

Au Pérou, au Chili et en Bolivie la succession est comparable. On a, au Pérou :

1° Les *pacos* ou *cascajos* (*colorados* quand les oxydes de cuivre abondent), minerais rouges, riches en oxydes, tenant environ 500 grammes d'argent à la tonne (oxydation).

2° Les *bronzes*, produits d'altération des pyrites de fer et de cuivre avec un peu d'argent natif (oxydation).

3° Les *pavonados*, zone riche formée de sulfures et sulfo-antimoniures tenant 8 à 9 kilogrammes d'argent à la tonne (cimentation).

4° Les *minerais plombeux*, principalement

formés de galène tenant de 1 à 5 kilogrammes d'argent (zone inaltérée).

Au *Chili*, l'ordre est le même :

1° A la surface, se présentent les métaux chauds, *metales calidos*, facilement amalgamables, formés de chlorures et bromures d'argent avec restes de minerais sulfurés ou arséniés, en partie décomposés en argile ferrugineuse et malachite. Quand les chlorures dominent à l'état de terres grises et ocreuses, on a les *pacos*; quand c'est la malachite ou l'azurite, les *colorados* (zone d'oxydation).

2° Puis viennent, vers 80 à 150 mètres, les métaux froids (*metales frios*) : d'abord les *mulatos* où les sulfures dominent; puis les *negrillos*, sulfo-arséniures et antimoniures complexes, correspondant au pavonados du Chili (zone de cémentation).

3° Plus bas, on entrerait dans les sulfures pauvres de plomb, zinc, fer, cuivre, etc.; mais cette zone est rarement atteinte au Chili (zone inaltérée).

Quant aux gisements d'or, ce qui les caractérise, en général, c'est la présence de l'or à l'état natif à la surface avec de l'oxyde de fer et du quartz carié, où la destruction de la pyrite a laissé des vides : à la base de cette zone oxydée, on observe parfois une concentration, due à ce que les cristaux d'or primitifs ont été *nourris*

par des dissolutions aurifères descendues des parties hautes pendant leur altération, tandis que, plus bas, on rencontre l'or inclus dans la pyrite de fer intacte ou dans du mispickel et que son extraction métallurgique devient souvent difficile. Ce fait, qui peut se vérifier aussi bien pour des gîtes sédimentaires comme ceux du Transvaal que pour des filons, amène un appauvrissement constant des exploitations d'or en profondeur. Pour les filons aurifères, il s'ajoute à cette considération cet autre fait que l'on a souvent affaire à des fissures dues au retrait et rapidement coincées à une certaine distance de la surface. Il en résulte que la richesse constatée aux affleurements d'un filon d'or doit, presque toujours, être considérée comme un maximum.

CHAPITRE VIII

—

GÎTES SÉDIMENTAIRES

39. — Les gîtes dits sédimentaires sont ceux qui se sont formés par précipitation ou dépôt, au milieu d'une masse liquide, dans des conditions identiques à celles des grès, schistes, calcaires et autres terrains stratifiés, dont sont composées nos assises géologiques.

Ces gisements, d'origine aussi bien que de caractère sédimentaires, sont à distinguer avec grand soin des gîtes à apparence interstratifiée, qui sont en réalité des filons couches, ou des filons de contact et qui doivent seulement leur allure à la facilité toute particulière avec laquelle les plans de joint des schistes ou surtout les contacts de deux terrains différents, tels que calcaire et schiste, se sont prêtés à la pénétration facile des eaux incrustantes. Une telle distinction, si nécessaire qu'elle soit en théorie, est néanmoins souvent difficile en pratique, spécialement lorsque le gîte a été modifié par des altérations superfi-

cielles postérieures. C'est ainsi que divers géologues, dont Poszepny est le plus fameux, ont pu nier d'une façon absolue l'existence même des sédiments métallifères de précipitation chimique que nous étudierons bientôt et expliquer les plus caractéristiques de ceux que nous rangerons dans ce groupe, soit par une imprégnation postérieure, avec action réductrice (schistes cuprifères du Mansfeld), soit par une substitution de sels ferrugineux à des carbonates oolithiques calcaires (minerais de fer du Lac Supérieur.) Par contre, on s'est souvent appuyé sur le fait que l'imprégnation métallifère filonienne avait pris un développement particulier dans certaines strates pour admettre que ces strates avaient été métallisées dès l'origine et au moment même de leur dépôt. Une telle théorie a été soutenue pour beaucoup de « calcaires métallifères », aussi bien en Sardaigne qu'en Algérie et au Laurium (en Grèce) qu'en Silésie. En dehors des caractères filoniens, qui s'accusent souvent sur la continuation en longueur de ces mêmes gîtes, et qui deviennent également manifestes quand on atteint en profondeur la zone blendeuse inaltérée sous les calamines, il est difficile de concevoir le dépôt simultané des innombrables organismes qui forment le calcaire et de sulfures métalliques très abondants.

Les gisements, que nous considérons comme

sédimentaires, peuvent être divisés, d'après leur mode de formation probable, en deux grandes catégories principales : Gîtes de précipitation chimique et gîtes de dépôt mécanique. L'allure et la disposition des eaux dans lesquelles ils se sont formés permet, en outre, d'établir des subdivisions suivant qu'il s'agit d'eaux courantes (rivières et torrents), de bassins fermés (lacs ou lagunes), de sédiments marins (littoraux ou de haute mer).

40. Gîtes de précipitation chimique. Produits salins. Sulfures métalliques. Minerais de fer. Phosphates. — Les gîtes de précipitation chimique comprennent : 1° des produits de simple évaporation, comme les amas de gypse, de sel gemme ou de chlorures alcalins, déjà signalés précédemment ; 2° des sulfures métalliques précipités, selon toute vraisemblance par l'action réductrice de matières organiques sur des dissolutions sulfatées ; 3° des sels carbonatés ou peroxydés de fer, que nous allons essayer d'interpréter ; 4° des phosphates de chaux, dus à une concentration littorale de phosphates dissous sur des restes organiques déjà phosphatés.

En ce qui concerne les produits d'évaporation, nous avons vu comment la concentration de l'eau de mer donne, d'abord, du gypse, puis du sel gemme, puis des sels magnésiens et chlo-

rures alcalins, et comment une concentration connexe peut amener le dépôt simultané de certains sulfures métalliques (fer, cuivre, accessoirement nickel, cobalt, etc.). Je ne crois pas que de semblables sulfures puissent arriver à former un grand gîte utilisable quand l'eau de mer évaporée se trouve dans les conditions normales. Mais il a dû en être autrement quand, à la suite d'un plissement important, l'érosion s'est trouvée atteindre la zone relativement profonde, où nous supposons qu'ont cristallisé surtout les grands filons et amas de sulfures métallifères. La mise à nu d'une telle zone semble, en principe, avoir dû faire apparaître simultanément les principales intrusions de porphyres et la destruction de ces pyrites et porphyres semble caractérisée, à ce moment, par les grands dépôts de conglomérats porphyriques, à ciment rouge ferrugineux, qui marquent une étape bien nette dans les diverses périodes de plissement géologiques (keweenawien du Lac Supérieur, « old red sand stone » dévonien d'Angleterre, « rothliegende » permien de l'Europe centrale, tertiaire du Boleo).

Après une telle phase destructive, il a dû arriver, dans les eaux de certaines lagunes littorales, des quantités exceptionnelles de sulfates métalliques, qui ont pu se concentrer et se précipiter ensuite. Une explication de ce genre est, en tout cas, beaucoup plus vraisemblable que

celle, autrefois adoptée, qui supposait le débouché dans ces lagunes de sources thermales métallifères. J'ai déjà dit, en effet, que sauf exception, les sources thermales métallisantes me paraissent avoir précipité leurs produits d'incrustation dans une zone profonde, qui n'a pu être mise à nu plus tard que par une longue érosion et être arrivées au jour à peu près semblables à nos sources thermales actuelles, c'est-à-dire ordinairement exemptes de sels métalliques.

Les minerais de fer sédimentaires, qui ont une si grande importance industrielle, se montrent à nous sous des formes très variables, dont la nature est en rapport évident avec le métamorphisme : hématite brune, hématite rouge, sidérose, oligiste, magnétite. Nous avons déjà vu (§§ 8 et 10) comment on peut expliquer le passage de ces minerais les uns aux autres et comment l'état où ils se présentent est, jusqu'à un certain point, en relation avec leur âge, parce qu'il dépend de leur degré du métamorphisme. Quelques minerais de fer géologiques sont des dépôts lacustres, dont les minerais actuels des marais et tourbières, étudiés au § 8, peuvent aider à comprendre l'origine. Nous assistons, également, à quelques dépôts superficiels de peroxyde de fer, par une remise en mouvement qui s'accomplit dans les ruisseaux passant sur des gîtes ferrugineux. Mais la très grande majorité des

sédiments ferrugineux compris dans les étages géologiques semblent être des dépôts marins, dépôts de mers peu profondes, souvent littoraux, qui ont dû être, en général, au début, des carbonates de fer oolithiques ⁽¹⁾ et n'avoir passé ensuite au peroxyde que par altération superficielle. A certaines époques géologiques, on suit, à travers des continents entiers, des traînées de minerais semblables et il est naturel de chercher une relation entre leur présence et les phénomènes d'érosion déjà invoqués précédemment ⁽²⁾.

Si l'on remarque, en effet, que le volume des montagnes actuelles peut être évalué à environ 50 millions de kilomètres cubes et que de semblables montagnes ont pu surgir à la suite des plissements calédoniens ou hercyniens sur des régions où il n'en reste pour ainsi dire plus trace, on est conduit à admettre que la fin d'une de ces grandes phases tectoniques a amené le remaniement par les eaux d'une masse de terrains approximativement représentée par ce chiffre de 50 millions de kilomètres cubes. Or la teneur moyenne des roches en fer correspond à 6,50 % de sesquioxyde de fer. Pour

(1) D'après Bleicher, il entre toujours de la silice amorphe dans la constitution de ces oolithes ferrugineuses.

(2) L. DE LAUNAY. — *Science géologique*, p. 339.

50 millions, cela fait donc 3,25 millions de kilomètres cubes d'oxyde de fer. Une très faible partie de cette masse a été, sans doute, d'abord dissoute, puis surtout isolée en gisements proprement dits. Néanmoins un chiffre aussi considérable permet de comprendre l'abondance des sédiments ferrugineux, sans invoquer la destruction d'aucun gisement antérieur, où ce fer aurait été déjà concentré.

On s'explique donc bien ainsi la présence du fer dans les eaux où il s'est précipité : mais il est plus difficile de comprendre cette précipitation même dans les conditions où elle parait s'être réalisée ; car il faut reconnaître qu'aucun phénomène actuel ne reproduit exactement le phénomène géologique. Les dépôts de fer de nos mers actuelles se composent surtout de pyrites dans nos vases côtières, de glauconie (hydro-silicate potassique), éparpillée dans les dépôts relativement profonds (jusqu'à 1500 mètres) sur certaines côtes ⁽¹⁾, et, dans les fonds marins, d'un peu d'argile rouge ferrugineuse avec nodules manganésifères. Les carbonates, oolithiques ou autres, de nos sédiments,

(1) On a trouvé exceptionnellement, sur la côte de Californie, entre 180 et 730 m., des sables noirs presque entièrement formés de grains de glauconie. Les sondages du *Challenger* ont ramené des sédiments, dont la teneur en sesquioxyde de fer est de 16 à 40 0/0.

qui représentent un type de minerais différent, peuvent être dus à l'intervention du carbonate d'ammoniaque, résultat lui-même de l'activité vitale. Il est possible qu'il y ait eu ainsi fixation du carbonate de fer, comme il y a incessamment fixation de carbonate de chaux dans tous les coquillages marins et l'allure oolithique, qui se reproduit si facilement pour le calcaire sur les récifs coralliens, peut également faire penser à une intervention de ce genre, si l'on n'admet pas l'hypothèse indiquée plus haut (et peu vraisemblable à mon avis) du fer se substituant ultérieurement à la chaux.

Quant au phosphate de chaux, dont je n'ai à parler ici qu'incidemment, il procède originellement de l'apatite, d'abord cristallisée dans les roches, puis mise en mouvement dans toutes les réactions superficielles, où le phosphate de chaux accompagne le fer, et, comme lui, est dissous à la faveur de l'acide carbonique en excès, puis reprécipité par le dégagement de cet acide carbonique. L'activité vitale facilite la concentration de cet élément; car les êtres vivants commencent par fixer organiquement un peu du phosphate dilué dans les eaux, et leurs débris servent ensuite chimiquement de centre d'attraction au reste de ce phosphate, qui se concentre sur eux. Toutes les altérations superficielles des affleurements phosphatés accentuent ensuite cette concentration.

41. Gites de dépôt mécanique. Alluvions torrentielles ou littorales. — Les gites de dépôt mécanique sont le résultat d'une préparation analogue à celle qui, dans nos usines, sert à isoler les minerais de leurs gangues en se fondant sur des différences de densité ou de dureté. Cette préparation a été réalisée d'une façon tout à fait différente, soit le long d'un cours d'eau plus ou moins torrentiel, dans les conditions que reproduisent les sluices de nos mines d'or, soit sur les rivages qui ont donné lieu à un remaniement presque indéfini et sur place des mêmes produits. On exploite, dans les premières conditions, de l'or, du platine, de la cassitérite, rarement de la magnétite, ou des pierres précieuses, telles que le diamant, le rubis, le saphir, le grenat, etc. Sur les rivages, on a rencontré quelques dépôts de cassitérite, ou, actuellement, au Brésil, de monazite.

En théorie, l'on peut concevoir que de tels dépôts mécaniques ont dû se réaliser à toutes les époques géologiques, comme ils le font sous nos yeux. En pratique, il est cependant très rare d'en trouver la trace à ces époques anciennes ; et on le comprend aisément, car les dépôts de nos rivières ou torrents sont à compter parmi les produits les plus superficiels, que l'érosion emporte aussitôt et qui ont eu, par suite, bien peu de chances de survivre à la phase géologique

où ils se sont formés et les concentrations côtières, d'autre part, n'occupent généralement sur le rivage qu'une bande très mince. Il existe cependant (Salzgitter au nord de Goslar, Ilsede en Hanovre) des minerais de fer provenant très probablement d'un remaniement crétacé. Il est possible, en outre, que certains grès permien ou triasiques à grains ou noyaux de galène le long de la chaîne hercynienne soient un simple produit semblable de destruction mécanique ; enfin on connaît dans le carbonifère d'Australie, le jurassique de la Sierra-Nevada (en Californie), etc., quelques cas de conglomérats aurifères anciens, où la pyrite aurifère n'a peut-être pas commencé par entrer en dissolution, mais a été simplement charriée et déposée mécaniquement. La très grande majorité de ces dépôts mécaniques appartiennent toutefois à une période récente et remontent seulement (Californie) jusqu'au miocène. Leurs caractères ont été indiqués au § 12. Ce sont, avant tout, des alluvions aurifères ou platinifères ; accessoirement, on peut exploiter, dans les mêmes conditions, la cassitérite. Quand il s'agit de l'or, on croit constater une redissolution du métal précieux dans le sulfate de fer dilué ou dans d'autres réactifs qu'ont pu renfermer les eaux superficielles et, par suite, on admet qu'un phénomène de concentration chimique a pu succéder au phénomène mécanique ou l'accompagner et en accentuer les effets.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE PREMIER

Définition et Classification des gîtes métallifères.

	Pages
1. Généralités. Classification des gîtes primitifs en deux catégories. I. Inclusions et ségrégations ignées. II. Dépôts hydrothermaux ou filoniens. Division des gîtes secondaires en : I. Gîtes d'altération et de remise en mouvement. II. Sédiments :	5

CHAPITRE II

Origine première des métaux. Exposé succinct de la formation des gîtes

2. Relation d'origine entre les inclusions, ségrégations, dépôts hydrothermaux, gîtes d'altération et sédiments	12
3. Répartition chimique des métaux entre les deux catégories de gîtes primitifs	22

CHAPITRE III

Phénomènes actuels pouvant servir à expliquer la formation des gîtes métallifères

4. Phénomènes actuels utiles à étudier.	28
5. Phénomènes volcaniques ; fumerolles, solfatares, etc.	29
6. Sources thermales et geysers	34
7. Évaporation des bassins salés et des lagunes.	40

	Pages
8. Précipités chimiques. Dépôts de fer actuels des lacs et des marais. Géologie en action. Transformation ou métamorphisme des minerais	42
9. Dépôts métalliques dans les grottes, travaux de mines, etc.	47
10. Altération superficielle des minerais. Considération du niveau hydrostatique. Zones d'oxydation et de cémentation. Cas des sulfures de plomb, zinc et fer en terrain calcaire. Minerais d'or et d'argent.	48
11. Cristallisation des minerais. Synthèse	54
12. Dépôts d'alluvions	57
13. Procédés d'étude des gîtes métallifères. Examen stratigraphique, pétrographique et chimique des roches et terrains avoisinants.	58

CHAPITRE IV

Gîtes d'inclusion et de ségrégation ignée dans les roches cristallines. Gîtes de contact ou de départ immédiat

14. Gisements en inclusions de platine, fer, chrome, nickel, cuivre, étain, or	63
15. Ségrégations ignées de titano-magnétite, fer chromé, etc. Gîtes de contact (sulfures cuprifères ou nickelifères) et gîtes de départ immédiat (étain)	64

CHAPITRE V

Gîtes de dépôt hydrothermal filoniens. Étude de la cavité remplie

16. Définitions. Divisions du sujet.	71
17. Origine des fractures filoniennes, plissement, torsion, effondrement, retrait	73

	Pages
18. Influence mécanique de la roche encaissante sur la disposition de la fracture	78
19. Formes principales des fractures. Variations et arrêts en direction ou en inclinaison.	81
20. Remplissages bréchiformes ou argileux. Salbandes.	84
21. Accidents mécaniques contemporains du remplissage ou postérieurs. Minerai bréchoïdes. Déviations amenées par d'autres filons ou failles.	87
22. Détermination de l'âge d'une fracture.	89
23. Champs de fractures	91
24. Amas filoniens pyriteux.	94
25. Gîtes d'imprégnation.	98

CHAPITRE VI

Gîtes de dépôt hydrothermal filoniens. Étude du remplissage

26. Divisions du sujet	100
27. Minéraux des filons. Leur origine	101
28. Le remplissage des filons s'est fait par en bas.	106
29. Les remplissages filoniens ont été formés par les eaux.	110
30. Rôle des minéralisateurs. Les parties profondes des filons se sont déposées dans un milieu réducteur	114
31. La zone des remplissages filoniens est limitée par en haut et par en bas. Ces dépôts, à l'origine, ne se sont généralement pas faits jusqu'à la surface.	118
32. Age des remplissages. Chronologie des veines métallifères. Exemples choisis pour les divers métaux.	120
33. Répartition des minerais dans le filon (zones parallèles, colonnes, lentilles, amas)	143

190 FORMATION DES GÎTES MÉTALLIFÈRES

	Pages
34. Succession des divers remplissages dans certains champs de fractures. Influence des croiseurs.	146
35. Variations originelles du remplissage filonien en direction et en profondeur. Influence des roches encaissantes. Types régionaux de gîtes métallifères. Rôle des érosions plus ou moins avancées.	151
36. Affinités de certaines substances entre elles. Associations minérales.	161
37. Gîtes d'imprégnation	163

CHAPITRE VII

Gîtes d'altération et de remise en mouvement.

38. Modifications chimiques postérieures à la formation du gîte. Altérations superficielles. Remises en mouvement. Rôle des milieux calcaires. Variations secondaires en profondeur. Cas de divers métaux	166
---	-----

CHAPITRE VIII

Gîtes sédimentaires

39. Données générales	177
40. Gîtes de précipitation chimique. Produits salins. Sulfures métalliques. Minerais de fer. Phosphates	179
41. Gîtes de dépôt mécanique. Alluvions torrentielles ou littorales	185

SAINT-AMAND (CHER). — IMPRIMERIE BUSSIÈRE

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS
55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, A PARIS (6°)

Envoi franco contre mandat-poste ou valeur sur Paris.

COURS DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS.

TRAITÉ D'ANALYSE

Par Émile PICARD,

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

QUATRE BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT.

TOME I. — *Intégrales simples et multiples. — L'équation de Laplace et ses applications. Développement en séries. — Applications géométriques du Calcul infinitésimal.* 2^e édition revue et corrigée, avec fig.; 1901. 16 fr.

TOME II. — *Fonctions harmoniques et fonctions analytiques. — Introduction à la théorie des équations différentielles. Intégrales abéliennes et surfaces de Riemann.* 2^e édition; 1904. (Un premier fascicule est paru.) Prix du volume complet pour les souscripteurs..... 16 fr.

TOME III. — *Des singularités des intégrales des équations différentielles. Etude du cas où la variable reste réelle et des courbes définies par des équations différentielles. Equations linéaires; analogies entre les équations algébriques et les équations linéaires;* 1896..... 18 fr.

TOME IV. — *Équations aux dérivées partielles* (En préparation.)

THÉORIE

DES

FONCTIONS ALGÈBRIQUES

DE DEUX VARIABLES INDÉPENDANTES

PAR

Émile PICARD,

Membre de l'Institut.
Professeur à l'Université de Paris.

Georges SIMART,

Capitaine de frégate,
Répétiteur à l'École Polytechnique.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8, SE VENDANT SÉPARÉMENT.

TOME I. — Grand in-8 de vi-246 pages; 1897..... 9 fr.

TOME II. — (Deux fascicules sont parus.) Prix du volume complet pour les souscripteurs..... 14 fr.

LES AUXILIAIRES ÉCONOMIQUES

DES

CHAUDIÈRES

ET

MACHINES A VAPEUR

Par **Joseph CARLIER**,

Ingénieur attaché au Service d'Électricité de l'Administration
des Chemins de fer de l'État belge.

Vol. in-8 (24×15,5) de 365 pages, avec 345 figures; 1903... 5 fr.

ESSAIS INDUSTRIELS

DES

MACHINES ÉLECTRIQUES

ET DES

GROUPES ÉLECTROGÈNES

Par **F. LOPPÉ**,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

Volume grand in-8 (25×16) de 284 pages avec 129 fig.; 1904. 8 fr.

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

DES

ENROULEMENTS DES DYNAMOS

A COURANT CONTINU

Par **F. LOPPÉ**,

Ingénieur des Arts et Manufactures,
Professeur d'Électricité industrielle à l'École municipale professionnelle Diderot.

In-16 (19×12) de vi-80 pages, avec fig. et 12 pl.; 1904., 2 fr. 75 c.

COURS D'ANALYSE

PROFESSÉ A L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Par **G. HUMBERT**,

Membre de l'Institut, Professeur à l'École Polytechnique.

TOME I : *Calcul différentiel. Principes du calcul intégral. Applications géométriques.* Avec 111 figures; 1903. 16 fr.

TOME II : *Complément du calcul intégral. Fonctions analytiques et elliptiques. Equations différentielles.* Avec 91 figures; 1904. 16 fr.

COURS D'ANALYSE INFINITÉSIMALE

Par **Ch.-J. de la VALLÉE-POUSSIN**,

Professeur à l'Université de Louvain.

Un volume grand in-8 de xiv-372 pages; 1903. 12 fr.

PRESSES MODERNES TYPOGRAPHIQUES

Par **A. DUCROT**,

Ancien Élève de l'École Polytechnique.

Volume in-4 (28 × 23) de 162 pages avec 141 fig.; 1904. 7 fr. 50 c.

COURS D'ANALYSE MATHÉMATIQUE

Par **E. GOURSAT**,

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

TOME I : *Dérivées et différentielles. Intégrales définies. Développements en séries. Applications géométriques.* Grand in-8; 1902. 20 fr.

TOME II : *Fonctions analytiques. Equations différentielles. Equations aux dérivées partielles. Eléments du calcul des variations.* (Un premier fascicule est paru.) Prix du volume complet pour les souscripteurs... 20 fr

JOURNAL DE PHYSIQUE

THÉORIQUE ET APPLIQUÉE

TABLE ANALYTIQUE ET TABLE PAR NOMS D'AUTEURS

DES TROIS PREMIÈRES SÉRIES (1872-1901)

Dressées par MM. E. BOUTY et B. BRUNHES,

Avec la collaboration de MM. Bénard, Carré, Couette, Lamotte,
Marchis, Maurain, Roy et Sandoz.

Un volume grand in-8 (25×16) de 342 pages; 1903..... 10 fr.

L'ATELIER MODERNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES

PROCÉDÉS SPÉCIAUX MÉCANIQUES

ET TOURS DE MAIN

Par Robert GRIMSHAW.

Traduit de l'anglais par A. LATTUGA.

Volume de 394 pages, avec 222 figures..... 10 fr.

PROF. D^r W. OSTWALD.

ÉLÉMENTS

DE

CHIMIE INORGANIQUE

Traduit de l'allemand par L. LAZARD,

I^{re} PARTIE : *Métalloïdes*. Volume grand in-8 (25×16) de ix-542 pages,
avec 106 figures; 1904..... 15 fr.

LEÇONS SUR L'ÉLECTRICITÉ

PROFESSÉES

A L'INSTITUT ÉLECTROTECHNIQUE DE MONTEFIORE

PAR

Eric GERARD,
Directeur de cet Institut.

SEPTIÈME ÉDITION, ENTIÈREMENT REFONDUE.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8 (25 × 16), SE VENDANT SÉPARÉMENT.

TOME I. — *Théorie de l'Électricité et du Magnétisme. Électrométrie. Théorie et construction des générateurs électriques*, avec 400 fig.; 1904. **12 fr.**

TOME II. — *Transformateurs électriques. Canalisation et distribution de l'énergie électrique. Application de l'électricité à la télégraphie, à la téléphonie, à la production et à la transmission de la puissance motrice, à la traction, à l'éclairage et à la métallurgie.* Avec nombreuses figures; 1904..... (Sous presse.)

LES APPLICATIONS

DES

ACIERS AU NICKEL

Avec un Appendice sur la Théorie des aciers au nickel.

Par **Ch.-Ed. GUILLAUME,**

Directeur adjoint du Bureau international des Poids et Mesures.

In-8 (23×15) de vii-215 pages, avec 25 figures; 1904... **3 fr. 50 c.**

RAYONS " N "

Recueil des Communications faites à l'Académie des Sciences.

Par **R. BLONDLOT,**

Correspondant de l'Institut, Professeur à l'Université de Nancy.

Avec des Notes complémentaires et une Instruction pour la construction des Écrans phosphorescents.

Volume in-16 (19×12) de vi-75 pages, avec 3 figures, 2 planches et un écran phosphorescent; 1904..... **2 fr.**

LE RADIUM ET LA RADIOACTIVITÉ

Propriétés générales. Emplois médicaux.

Par **Paul BESSON**,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

Avec une Préface du **D^r A. D'ARSONVAL**, membre de l'Institut.

VOLUME IN-16 (19 × 12) DE VII-172 PAGES, AVEC 23 FIGURES;
1904..... 2 FR. 75 C.

TECHNOLOGIE MÉCANIQUE MÉTALLURGIQUE

Par **A. LEDEBUR**,

Professeur à l'Académie des Mines de Freiberg (Saxe).

TRADUIT SUR LA 2^e ÉDITION ALLEMANDE,

Par **G. HUMBERT**, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Avec un Appendice sur la Sécurité des ouvriers dans le travail par **J. JOLY**.

GRAND IN-8 DE VI-740 PAGES, AVEC 729 FIGURES; 1903. 25 FR.

GUSTAVE ROBIN,

Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Paris.

ŒUVRES SCIENTIFIQUES

réunies et publiées sous les auspices du Ministère de l'Instruction publique,

Par **Louis RAFFY**,

Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Paris.

TROIS VOLUMES GRAND IN-8 (25 × 16), AVEC FIGURES, SE VENDANT SÉPARÉMENT.

MATHÉMATIQUES : *Théorie nouvelle des fonctions exclusivement fondée sur l'idée de nombre*. Un volume grand in-8; 1903 7 fr.

PHYSIQUE : Un volume grand in-8, en deux fascicules :

Physique mathématique (Distribution de l'Electricité, Hydrodynamique, Fragments divers). Un fascicule grand in-8 avec 4 figures; 1899.. 5 fr.

Thermodynamique générale (Équilibre et modifications de la matière). Un fascicule grand in-8 avec 30 figures; 1901..... 9 fr.

CHIMIE : *Leçons de Chimie physique*, professées à la Faculté des Sciences de Paris. Un volume in-8..... (En préparation.)

COURS D'ÉLECTRICITÉ

Par H. PELLAT,

Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

3 volumes grand in-8, se vendant séparément :

- TOME I : *Électrostatique. Loi d'Ohm. Thermo-électricité*, avec 145 figures; 1901..... 10 fr.
TOME II : *Électrodynamique. Magnétisme. Induction. Mesures électromagnétiques*, avec 221 figures; 1903..... 18 fr.
TOME III : *Électrolyse. Capillarité*..... (Sous presse.)

LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

Par André BROCA,

Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine.

- 2^e édition, revue et augmentée, in-18 jésus (19 × 13) avec 52 figures; 1904..... 4 fr.

BRASSERIE ET MALTERIE

Par P. PETIT,

Professeur à l'Université de Nancy,
Directeur de l'École de Brasserie.

- Volume grand in-8 (25 × 16) de vii-359 pages, avec 89 figures; 1903. cartonné..... 12 fr.

COURS

DE

MATHÉMATIQUES SUPÉRIEURES

A L'USAGE

DES CANDIDATS A LA LICENCE ÈS SCIENCES PHYSIQUES

Par M. l'Abbé STOFFAES,

Professeur adjoint à la Faculté catholique des Sciences de Lille,
Directeur de l'Institut catholique d'Arts et Métiers de Lille.

DEUXIÈME ÉDITION, ENTIÈREMENT REFOUNDUE.

- Un beau volume in-8, avec figures; 1903. Prix..... 10 fr.

COURS DE PHYSIQUE

DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Par J. JAMIN et E. BOUTY.

Quatre tomes in-8, de plus de 4000 pages, avec 1587 figures et 14 planches; 1885-1891. (OUVRAGE COMPLET)..... 72 fr.

TOME I. — 9 fr.

- 1^{er} fascicule. — *Instruments de mesure. Hydrostatique*; avec 150 figures et 1 planche..... 5 fr.
2^e fascicule. — *Physique moléculaire*; avec 93 figures..... 4 fr.

TOME II. — CHALEUR. — 15 fr.

- 1^{er} fascicule. — *Thermométrie, Dilatations*; avec 98 figures. 5 fr.
2^e fascicule. — *Calorimétrie*; avec 48 fig. et 2 planches..... 5 fr.
3^e fascicule. — *Thermodynamique. Propagation de la chaleur*; avec 47 figures..... 5 fr.

TOME III. — ACOUSTIQUE; OPTIQUE. — 22 fr.

- 1^{er} fascicule. — *Acoustique*; avec 123 figures..... 4 fr.
2^e fascicule. — *Optique géométrique*; 139 fig. et 3 planches. 4 fr.
3^e fascicule. — *Etude des radiations lumineuses, chimiques et calorifiques; Optique physique*; avec 249 fig. et 5 planches, dont 2 planches de spectres en couleur..... 14 fr.

TOME IV (1^{re} Partie). — ÉLECTRICITÉ STATIQUE ET DYNAMIQUE. — 13 fr.

- 1^{er} fascicule. — *Gravitation universelle. Électricité statique*; avec 155 figures et 1 planche..... 7 fr.
2^e fascicule. — *La pile. Phénomènes électrothermiques et électrochimiques*; avec 161 figures et 1 planche..... 6 fr.

TOME IV (2^e Partie). — MAGNÉTISME; APPLICATIONS. — 13 fr.

- 3^e fascicule. — *Les aimants. Magnétisme. Électromagnétisme. Induction*; avec 240 figures..... 8 fr.
4^e fascicule. — *Météorologie électrique; applications de l'électricité. Théories générales*; avec 84 figures et 1 planche..... 5 fr.

TABLES GÉNÉRALES des quatre volumes. In-8; 1891..... 60 c.

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viennent compléter ce grand Traité et le maintenir au courant des derniers travaux.

1^{er} SUPPLÉMENT. — *Chaleur. Acoustique. Optique*, par E. BOUTY, Professeur à la Faculté des Sciences. In-8, avec 41 fig.; 1896. 3 fr. 50 c.

2^e SUPPLÉMENT. — *Électricité. Ondes hertziennes. Rayons X*; par E. BOUTY. In-8, avec 48 figures et 2 planches; 1899. 3 fr. 50 c.

ENCYCLOPÉDIE DES TRAVAUX PUBLICS

ET ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE.

TRAITÉ DES MACHINES A VAPEUR

CONFORME AU PROGRAMME DU COURS DE L'ÉCOLE CENTRALE (E. I.)

Par **ALHEILIG** et **C. ROCHE**, Ingénieurs de la Marine.

TOME I (412 fig.); 1895..... 20 fr. | TOME II (281 fig.); 1895..... 18 fr.

CHEMINS DE FER

PAR

E. DEHARME,

Ing^r principal à la Compagnie du Midi.

A. PULIN,

Ing^r Insp^r p^{al} aux chemins de fer du Nord.

MATÉRIEL ROULANT. RÉSISTANCE DES TRAINS. TRACTION

Un volume grand in-8, xxii-441 pages, 95 figures, 1 planche; 1895 (E.I.). 15 fr.

ÉTUDE DE LA LOCOMOTIVE. LA CHAUDIÈRE

Un volume grand in-8 de vi-608 p. avec 131 fig. et 2 pl.; 1900 (E.I.). 15 fr.

**ÉTUDE DE LA LOCOMOTIVE. MÉCANISME, CHASSIS
TYPES DE MACHINES**

Un volume grand in-8 (25x16) de iv-712 pages, avec 288 figures et un atlas in-4° (32x25) de 18 planches; 1903. Prix..... 25 fr.

CHEMINS DE FER D'INTÉRÊT LOCAL TRAMWAYS

Par **Pierre GUÉDON**, Ingénieur.

Un beau volume grand in-8, de 393 pages et 141 figures (E. I.); 1901..... 11 fr.

INDUSTRIES DU SULFATE D'ALUMINIUM, DES ALUNS ET DES SULFATES DE FER,

Par **Lucien GESCHWIND**, Ingénieur-Chimiste.

Un volume grand in-8, de VIII-364 pages, avec 195 figures; 1899 (E. I.). 10 fr.

COURS DE CHEMINS DE FER

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Par **C. BRICKA**,

Ingénieur en chef de la voie et des bâtiments aux Chemins de fer de l'État.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8; 1894 (E. T. P.)

TOME I : avec 326 fig.; 1894.. 20 fr. | TOME II : avec 177 fig.; 1894.. 20 fr.

COUVERTURE DES ÉDIFICES

ARDOISES, TUILES, MÉTAUX, MATIÈRES DIVERSES,

Par **J. DENFER**,

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 429 FIG.; 1893 (E. T. P.).. 20 FR.

CHARPENTERIE MÉTALLIQUE

MENUISERIE EN FER ET SERRURERIE,

Par **J. DENFER**,

Architecte, Professeur à l'École Centrale.

DEUX VOLUMES GRAND IN-8; 1894 (E. T. P.).

TOME I : avec 479 fig.; 1894.. 20 fr. | TOME II : avec 571 fig.; 1894.. 20 fr.

ÉLÉMENTS ET ORGANES DES MACHINES

Par **Al. GOUILLY**,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

GRAND IN-8 DE 406 PAGES, AVEC 710 FIG.; 1894 (E. I.)... 12 FR.

MÉTALLURGIE GÉNÉRALE

PROCÉDÉS DE CHAUFFAGE

Par **U. LE VERRIER**,

Ingénieur en chef des Mines, Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers.

Grand in-8, de 367 pages, avec 171 figures; 1902 (E. I.) 12 fr.

VERRE ET VERRERIE

Par **Léon APPERT** et **Jules HENRIVAUX**, Ingénieurs.

Grand in-8 avec 130 figures et 1 atlas de 14 planches; 1894 (E. I.)..... 20 fr.

BLANCHIMENT ET APPRÊTS

TEINTURE ET IMPRESSION

Ch.-Er. GUIGNET,
Directeur des teintures aux Manufactures nationales
des Gobelins et de Beauvais,

PAR

F. DOMMER,
Professeur à l'École de Physique
et de Chimie industrielles
de la Ville de Paris,

E. GRANDMOUGIN,

Chimiste, ancien Préparateur à l'École de Chimie de Mulhouse.

GR. IN-8, AVEC 368 FIG., ET ÉCH. DE TISSUS IMPRIMÉS; 1895 (E. I.). 30 FR.

LES

INDUSTRIES PHOTOGRAPHIQUES

Matériel, Procédés négatifs, Procédés positifs,
Tirages industriels, Projections, Agrandissements, Annexes;

Par **C. FABRE**,

Docteur ès Sciences, Auteur du *Traité encyclopédique de Photographie*,
Professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse.

Volume grand in 8 (25×16) de 602 pages, avec 183 figures;
1904. E. I. 18 fr.

PONTS SOUS RAILS ET PONTS-ROUTES A TRAVÉES
MÉTALLIQUES INDÉPENDANTES.

FORMULES, BARÈMES ET TABLEAUX

Par **Ernest HENRY**,

Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC 267 FIG.; 1894 (E. T. P.). 20 FR.

Calculs rapides pour l'établissement des projets de ponts métalliques et pour le contrôle de ces projets, sans emploi des méthodes analytiques ni de la statique graphique (économie de temps et certitude de ne pas commettre d'erreurs).

CHEMINS DE FER.

EXPLOITATION TECHNIQUE

PAR MM.

SCHÉLLER,

Chef adjoint des Services commerciaux
à la Compagnie du Nord.

FLEURQUIN,

Inspecteur des Services commerciaux
à la même Compagnie.

UN VOLUME GRAND IN-8, AVEC FIGURES: 1901 (E. I.)..... 12 FR.

TRAITÉ DES INDUSTRIES CÉRAMIQUES

TERRES CUITES.

PRODUITS RÉFRACTAIRES. FAÏENCES. GRÈS. PORCELAINES.

Par **E. BOURRY**,

Ingénieur des Arts et Manufactures.

GRAND IN-8, DE 755 PAGES, AVEC 349 FIG.; 1897 (E. I.). 20 FR.

RÉSUMÉ DU COURS

DE

MACHINES A VAPEUR ET LOCOMOTIVES

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES,

Par **J. HIRSCH**,

Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées,
Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers.

2^e édition. Gr. in-8 de 510 p. avec 314 fig.; 1898 (E. T. P.). 18 fr.

LE VIN ET L'EAU-DE-VIE DE VIN

Par **Henri DE LAPPARENT**,
Inspecteur général de l'Agriculture.

INFLUENCE DES CÉPAGES, CLIMATS, SOLS, ETC., SUR LE VIN, VINIFICATION,
CUVERIE, CHAIS, VIN APRÈS LE DÉCUVAGE. ÉCONOMIE, LÉGISLATION.

GR. IN-8 DE XII-533 P., AVEC 111 FIG. ET 28 CARTES; 1895 (E. I.) 12 FR.

TRAITÉ DE CHIMIE ORGANIQUE APPLIQUÉE

Par **A. JOANNIS**, Prof^r à la Faculté de Bordeaux,

TOME I: 688 p., avec fig.; 1896. 20 fr. | TOME II: 748 p., avec fig. 1896. 15 fr.

MANUEL DE DROIT ADMINISTRATIF

Par **G. LECHALAS**, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

TOME I; 1889; 20 fr. — TOME II: 1^{re} partie; 1893; 10 fr. 2^e partie; 1898; 10 fr.

MACHINES FRIGORIFIQUES

PRODUCTION ET APPLICATIONS DU FROID ARTIFICIEL,

Par **H. LORENZ**, Professeur à l'Université de Halle.

TRADUIT DE L'ALLEMAND PAR **P. PETIT**, et **J. JAQUET**.

Grand in-8 de IX-186 pages, avec 131 figures; 1898 (E. I.)... 7 fr.

COURS DE CHEMINS DE FER

(ÉCOLE SUPÉRIEURE DES MINES),

Par **E. VICAIRE**, Inspecteur général des Mines,
rédigé et terminé par **F. MAISON**, Ingénieur des Mines.

Gr. in-8 de 581 pages avec nombreuses fig.; 1903 (E. I.)... 20 fr.

COURS DE GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE

ET DE GÉOMÉTRIE INFINITÉSIMALE,

Par **Maurice D'OCAGNE**,

Ingr et Prof^r à l'École des Ponts et Chaussées, Répétiteur à l'École Polytechnique.

GR. IN-8, DE XI-428 P., AVEC 340 FIG.; 1896 (E. T. P.)... 12 FR.

TRAITÉ DES LEÇONS DE MATÉRIAUX

DESTINÉS A

LA CONSTRUCTION DES MACHINES

Méthodes, Machines, Instruments de mesure

Par A. MARTENS. Traduit de l'allemand par P. BREUIL.

AVEC NOTES ET ANNEXES.

Grand in-8 (25×16), de 671 pages, avec 558 figures, et Atlas
(25×16) de 31 planches; 1904..... 50 fr.

ANALYSE INFINITÉSIMALE

A L'USAGE DES INGÉNIEURS (E.T.P.)

Par E. ROUCHÉ et L. LÉVY,

TOME I : *Calcul différentiel*. VIII-557 pages, avec 45 figures; 1900..... 15 fr.

TOME II : *Calcul intégral*. 829 pages, avec 50 figures; 1903..... 15 fr.

COURS D'ÉCONOMIE POLITIQUE

PROFESSÉ A L'ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES (E.T.P.),

Par G. COLSON, Conseiller d'État.

TOME I : *Exposé général des Phénomènes économiques. Le travail et les questions ouvrières*. Volume de 600 pages; 1901..... 10 fr.

TOME II : *La Propriété des biens corporels et incorporels. Le Commerce et la circulation*. Volume de 774 pages; 1903..... 10 fr.

TOME III..... (Sous presse.)

LA TANNERIE

Par L. MEUNIER et C. VANEY,

Professeurs à l'École française de Tannerie

et publié sous la direction de LÉO VIGNON,

Directeur de l'École française de Tannerie.

GRAND IN-8 DE 650 PAGES AVEC 98 FIGURES; 1903 (E. I.) 20 FR.

BIBLIOTHÈQUE PHOTOGRAPHIQUE

La Bibliothèque photographique se compose de plus de 200 volumes et embrasse l'ensemble de la Photographie considérée au point de vue de la Science, de l'Art et des applications pratiques.

DERNIERS OUVRAGES PARUS :

DICTIONNAIRE DE CHIMIE PHOTOGRAPHIQUE

A l'usage des Professionnels et des Amateurs,

Par G. et A. BRAUN fils.

Un volume grand in-8 (25x16), de 500 pages.

Cet ouvrage paraît en huit fascicules mensuels de 60 à 70 pages depuis le 15 février 1904.

PRIX pour les souscriptions qui parviendront avant le 1^{er} Août 1904. 12 fr.

LE TÉLÉOBJECTIF ET LA TÉLÉPHOTOGRAPHIE,

Par R. DALLMEYER. Traduction par L.-P. CLERC.

Grand in-8 de xi-110 pages, avec 51 figures et 11 planches; 1904.... 6 fr.

LES AGRANDISSEMENTS PHOTOGRAPHIQUES,

Par A. COURRÈGES, Praticien.

In-18 jésus, avec 12 figures; 1901..... 2 fr.

LA PHOTOGRAPHIE. TRAITÉ THÉORIQUE ET PRATIQUE,

Par A. DAVANNE.

2 beaux volumes grand in-8, avec 234 fig. et 4 planches spécimens... 32 fr.

Chaque volume se vend séparément..... 16 fr.

LE MUSÉE RÉTROSPECTIF DE LA PHOTOGRAPHIE

A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1900,

Par A. DAVANNE, M. BUCQUET et L. VIDAL.

Grand in-8 avec nombreuses figures et 11 planches; 1903..... 5 fr.

TRAITÉ ENCYCLOPÉDIQUE DE PHOTOGRAPHIE,

Par C. FABRE, Docteur ès Sciences.

4 beaux vol. grand in-8, avec 724 figures et 2 planches; 1889-1891... 48 fr.
Chaque volume se vend séparément 14 fr.

Des suppléments destinés à exposer les progrès accomplis viennent compléter ce Traité et le maintenir au courant des dernières découvertes.

1^{er} Supplément (A). Un beau vol. gr. in-8 de 400 p. avec 176 fig.; 1892. 14 fr.

2^e Supplément (B). Un beau vol. gr. in-8 de 424 p. avec 221 fig.; 1897. 14 fr.

3^e Supplément (C). Un beau vol. gr. in-8 de 400 pages; 1903..... 14 fr.

Les 7 volumes se vendent ensemble..... 84 fr.

LES INDUSTRIES PHOTOGRAPHIQUES,

Par C. FABRE.

In-8 raisin (25×16) de 602 pages, avec 183 figures; 1904..... 18 fr.

TRAITÉ PRATIQUE DU DÉVELOPPEMENT,

Par A. LONDE.

4^e édition. In-16 (19×12), avec figures; 1904..... 2 fr. 75 c.

LA PHOTOGRAPHIE SIMPLIFIÉE ET LA LUMIÈRE ARTIFICIELLE,

Par Auguste PIERRE PETIT fils.

In-18 Jésus, avec 30 figures; 1903..... 2 fr.

PRÉPARATION DES PLAQUES AU GÉLATINOBROMURE

PAR L'AMATEUR LUI-MÊME,

Par RIS-PAQUOT.

In-16 raisin; avec figures; 1903..... 2 fr.

MANUEL PRATIQUE DE PHOTOGRAPHIE SANS OBJECTIF,

Par L. ROUYER.

In-16 (19×12) de viii-96 pages, avec 19 figures; 1904..... 2 fr. 50 c.

TRAITÉ PRATIQUE DES TIRAGES PHOTOGRAPHIQUES,

Par Ch. SOLLET.

Volume in-16 raisin de vi-240 pages; 1902..... 4 fr.

LES TIRAGES PHOTOGRAPHIQUES AUX SELS DE FER,

Par E. TRUTAT.

In-16 (19×12) de 232 pages; 1904..... 1 fr. 25 c.

TRAITÉ PRATIQUE DE PHOTOCHROMIE,

Par Léon VIDAL.

In-18 Jésus avec 95 figures et 14 planches; 1903..... 7 fr. 50 c.

(Juin 1904.)

35349. — Paris, Imp. Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins

MASSON & C^{IE}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, boulevard Saint-Germain, Paris (6^e)

~~~~~ Collection Léauté  
P. n<sup>o</sup> 5.

EXTRAIT DU CATALOGUE (1)

(Octobre 1904)

La Pratique

# Dermatologique

TRAITÉ DE DERMATOLOGIE APPLIQUÉE

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

ERNEST BESNIER, L. BROCCQ, L. JACQUET

Par MM. AUDRY, BALZER, BARBE, BAROZZI, BARTHÉLEMY, BENARD, ERNEST BESNIER  
BODIN, BRAULT, BROCCQ, DE BRUN, DU CASTEL, CASTEX, COURTOIS-SUFFIT  
J. DARIER, DEHU, DOMINICI, W. DUBREUILH, HUDELO, L. JACQUET, JEANSELME  
J.-B. LAFFITTE, LENGLET, LEREDDE, MERKLEN, PERRIN, RAYNAUD  
RIST, SABOURAUD, MARCEL SÉE, GEORGES THIBIERGE, TREMOLIÈRES, VEYRIÈRES

*4 forts volumes richement cartonnés toile, très largement illustrés de  
figures en noir et de planches en couleurs. . . . . 156 fr.*

TOME I. 1 fort vol. grand in-8<sup>o</sup> avec 230 figures en noir et 24 planches  
en couleurs. — Anatomie et Physiologie de la Peau; Pathologie  
générale de la Peau; Symptomatologie générale des Dermatoses.  
(Acanthosis Nigricans à Ecthyma) . . . . . 36 fr.

TOME II. 1 fort vol. grand in-8<sup>o</sup> avec 168 figures en noir et 21 planches  
en couleurs (Eczéma à Langue). . . . . 40 fr.

TOME III. 1 fort vol. grand in-8<sup>o</sup> avec 201 figures en noir et 19 planches  
en couleurs (Lèpre à Pytiriasis) . . . . . 40 fr.

TOME IV. 1 fort vol. grand in-8<sup>o</sup> avec 213 figures en noir et 25 planches  
en couleurs (Poils à Zona). . . . . 40 fr.

---

(1) La librairie envoie gratuitement et franco de port les catalogues suivants à toutes  
les personnes qui lui en font la demande: — Catalogue général. — Catalogues  
de l'Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire: I. Section de l'ingé-  
nieur. II. Section du biologiste. — Catalogue des ouvrages d'enseignement.

# Traité

de

# Chirurgie

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

**Simon DUPLAY**

Professeur à la Faculté de médecine  
Chirurgien de l'Hôtel-Dieu  
Membre de l'Académie de médecine

**Paul RECLUS**

Professeur agrégé à la Faculté de médecine  
Chirurgien des hôpitaux  
Membre de l'Académie de médecine

PAR MM.

**BERGER, BROCA, PIERRE DELBET, DELENS, DEMOULIN, J.-L. FAURE  
FORGUE, GÉRARD MARCHANT, HARTMANN, HEYDENREICH, JALAGUIER  
KIRMISSON, LAGRANGE, LEJARS, MICHAUX, NÉLATON, PEYROT  
PONCET, QUÉNU, RICARD, RIEFFEL, SEGOND, TUFFIER, WALTHER**

## DEUXIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFOUNDUE

8 vol. gr. in-8° avec nombreuses figures dans le texte . . . . . 150 fr.

**TOME I. — 1 vol. grand in-8° de 912 pages avec 218 figures. . 18 fr.**

RECLUS. Inflammations, traumatismes, maladies virulentes. — BROCA. Peau et tissu cellulaire sous-cutané. — QUÉNU. Des tumeurs. — LEJARS. Lymphatiques, muscles, synoviales tendineuses et bourses séreuses.

**TOME II. — 1 vol. grand in-8° de 996 pages avec 361 figures. 18 fr.**

LEJARS. Nerfs. — MICHAUX. Artères. — QUÉNU. Maladies des veines. — RICARD et DEMOULIN. Lésions traumatiques des os. — PONCET. Affections non traumatiques des os.

**TOME III. — 1 vol. grand in-8° de 940 pages avec 285 figures. 18 fr.**

NÉLATON. Traumatismes, entorses, luxations, plaies articulaires. — QUÉNU. Arthropathies, arthrites sèches, corps étrangers articulaires. — LAGRANGE. Arthrites infectieuses et inflammatoires. — GÉRARD MARCHANT. Crâne. — KIRMISSON. Rachis. — S. DUPLAY. Oreilles et annexes.

**TOME IV. — 1 vol. grand in-8° de 896 pages avec 354 figures. 18 fr.**

DELENS. L'œil et ses annexes. — GÉRARD MARCHANT. Nez, fosses nasales, pharynx nasal et sinus. — HEYDENREICH. Mâchoires.

**TOME V. — 1 vol. grand in-8° de 948 pages avec 187 figures. 20 fr.**

BROCA. Face et cou. Lèvres, cavité buccale, gencives, palais, langue, larynx, corps thyroïde. — HARTMANN. Plancher buccal, glandes salivaires, œsophage et pharynx. — WALTHER. Maladies du cou. — PEYROT. Poitrine. — PIERRE DELBET. Mamelle.

**TOME VI. — 1 vol. grand in-8° de 1127 pages avec 218 figures. 20 fr.**

MICHAUX. Parois de l'abdomen. — BERGER. Hernies. — JALAGUIER. Contusions et plaies de l'abdomen, lésions traumatiques et corps étrangers de l'estomac et de l'intestin. Occlusion intestinale, péritonites, appendicite. — HARTMANN. Estomac. — FAURE et RIEFFEL. Rectum et anus. — HARTMANN et GOSSET. Anus contre nature. Fistules stercorales. — QUÉNU. Mésentère. Rate. Pancrêss. — SEGOND. Foie.

**TOME VII. — 1 fort vol. gr. in-8° de 1272 pag., 297 fig. dans le texte. 25 fr.**

WALTHER. Bassin. — FORGUE. Urètre et prostate. — RECLUS. Organes génitaux de l'homme. — RIEFFEL. Affections congénitales de la région sacro-coccygienne. — TUFFIER. Rein. Vessie. Urotères. Capsules surrénales.

**TOME VIII. — 1 fort vol. gr. in-8° de 971 pag., 163 fig. dans le texte. 20 fr.**

MICHAUX. Vulve et vagin. — PIERRE DELBET. Maladies de l'utérus. — SEGOND. Annexes de l'utérus, ovaires, trompes, ligaments larges, péritoine pelvien. — KIRMISSON. Maladies des mombres.

Ouvrage complet.

# Traité

5 forts vol. grand in-8° illustrés de 3750 figures en noir et en couleurs : 160 fr.

# d'Anatomie Humaine

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE

**P. POIRIER**

Professeur d'anatomie  
à la Faculté de Médecine de Paris  
Chirurgien des Hôpitaux.

**A. CHARPY**

Professeur d'anatomie  
à la Faculté de Médecine  
de Toulouse.

AVEC LA COLLABORATION DE MM.

O. Amoëdo — A. Branca — A. Cannieu — B. Cunéo — G. Delamare  
Paul Delbet — A. Druault — P. Fredet — Glantenay  
A. Gosset — M. Guibé — P. Jacques — Th. Jonnesco — E. Laguesse  
L. Manouvrier — M. Motais — A. Nicolas — P. Nobécourt  
O. Pasteau — M. Picou — A. Prenant — H. Rieffel  
Ch. Simon — A. Soulié

TOME PREMIER (*Deuxième édition, entièrement refondue*). — Embryologie — Ostéologie. — Arthrologie. 1 vol. avec 807 figures . . . . . 20 fr.

TOME II (*Deuxième édition, entièrement refondue*). — 1<sup>er</sup> Fascicule : Myologie. 1 vol. avec 331 figures . . . . . 12 fr.

2<sup>e</sup> Fascicule (*Deuxième édition, entièrement refondue*) : Angéiologie. (*Cœur et Artères. Histologie*). 1 vol. avec 150 figures. . . . . 8 fr.

3<sup>e</sup> Fascicule (*Deuxième édition, revue*) : Angéiologie (*Capillaires, Veines*). 1 vol. avec 75 figures . . . . . 6 fr.

4<sup>e</sup> Fascicule : Les Lymphatiques. 1 vol. avec 117 figures . . . . . 8 fr.

TOME III (*Deuxième édition, entièrement refondue*). — 1<sup>er</sup> Fascicule : Système nerveux (*Méninges, moelle, encéphale, embryologie, histologie*). 1 vol. avec 263 figures . . . . . 10 fr.

2<sup>e</sup> Fascicule (*Deuxième édition, entièrement refondue*) : Système nerveux (*Encéphale*). 1 vol. avec 131 figures . . . . . 10 fr.

3<sup>e</sup> Fascicule (*Deuxième édition, entièrement refondue*) : Système nerveux (*Les nerfs, nerfs craniens, nerfs rachidiens*). 1 vol. avec 228 figures . . . . . 12 fr.

TOME IV. — 1<sup>er</sup> Fascicule (*Deuxième édition, entièrement refondue*) : Tube digestif. 1 vol. avec 205 figures . . . . . 12 fr.

2<sup>e</sup> Fascicule (*Deuxième édition, revue*) : Appareil respiratoire. 1 vol. avec 121 figures. . . . . 6 fr.

3<sup>e</sup> Fascicule : Annexes du tube digestif. Péritoine. 1 vol. avec 361 figures en noir et en couleurs . . . . . 16 fr.

TOME V. — 1<sup>er</sup> Fascicule : Organes génito-urinaires. 1 vol. avec 431 figures . . . . . 20 fr.

2<sup>e</sup> Fascicule : Les Organes des Sens. Glandes surrénales. 1 vol. avec 554 figures. . . . . 20 fr.

**CHARCOT — BOUCHARD — BRISSAUD**

BABINSKI, BALLEZ, P. BLOCC, BOIX, BRAULT, CHANTEMESSE, CHARRIN, CHAUFARD, COURTOIS-SUFFIT, DUTIL, GILBERT, GUIGNARD, L. GUINON, G. GUINON, HALLION, LAMY, LE GENDRE, MARFAN, MARIE, MATHIEU, NETTER, CÉTINGER, ANDRÉ PETIT, RICHARDIÈRE, ROGER, RUAULT, SOUQUES, THIBERGE, THOINOT, TOLLEMER, FERNAND WIDAL.

# Traité de Médecine

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE MM.

**BOUCHARD**

Professeur à la Faculté de médecine  
de Paris,  
Membre de l'Institut.

**BRISSAUD**

Professeur à la Faculté de médecine  
de Paris,  
Médecin de l'hôpital Saint-Antoine.

**DEUXIÈME ÉDITION**

10 vol. gr. in-8° avec figures dans le texte. *En souscription* : **150 fr.**

**TOME I.** — 1 vol. gr. in-8° de 845 pages, avec figures dans le texte : **16 fr.**

Les Bactéries. — Pathologie générale infectieuse. — Troubles et maladies de la Nutrition. — Maladies infectieuses communes à l'homme et aux animaux.

**TOME II.** — 1 vol. gr. in-8° de 894 pages avec figures dans le texte : **16 fr.**

Fièvre typhoïde. — Maladies infectieuses. — Typhus exanthématique. — Fièvres éruptives. — Erysipèle. — Diphtérie. — Rhumatisme. — Scorbut.

**TOME III.** — 1 vol. gr. in-8° de 702 pages avec figures dans le texte : **16 fr.**

Maladies cutanées. — Maladies vénériennes. — Maladies du sang. — Intoxications.

**TOME IV.** — 1 vol. gr. in-8° de 680 pages avec figures dans le texte : **16 fr.**

Maladies de la bouche et du pharynx. — Maladies de l'estomac. — Maladies du pancréas. — Maladies de l'intestin. — Maladies du péritoine.

**TOME V.** — 1 vol. gr. in-8° avec fig. en noir et en coul. dans le texte : **18 fr.**

Maladies du foie et des voies biliaires. — Maladies du rein et des capsules surrénales. — Pathologie des organes hématopoiétiques et des glandes vasculaires sanguines.

**TOME VI.** — 1 vol. gr. in-8° de 612 pages avec figures dans le texte : **14 fr.**

Maladies du nez et du larynx. — Asthme. — Coqueluche. — Maladies des bronches. — Troubles de la circulation pulmonaire. — Maladies aiguës du poumon.

**TOME VII.** — 1 vol. gr. in-8° de 550 pages avec figures dans le texte : **14 fr.**

Maladies chroniques du poumon. — Phtisie pulmonaire. — Maladies de la plèvre. — Maladies du médiastin.

**TOME VIII.** — 1 vol. gr. in-8° de 580 pages avec figures dans le texte : **14 fr.**

Maladies du cœur. — Maladies des vaisseaux sanguins.

**TOME IX.** — 1 volume grand in-8° avec figures dans le texte : 18 fr.

Maladies de l'encéphale. — Maladies de la protubérance et du bulbe. — Maladies intrinsèques de la moelle épinière. — Maladies extrinsèques de la moelle épinière. — Maladies des méninges. — Syphilis des centres nerveux.

**TOME X.** — 1 vol. grand in-8° avec fig. dans le texte. (*Sous presse.*)

# Traité de Physiologie. ♣ ♣ ♣ ♣

PAR

**J.-P. MORAT**

Professeur à l'Université de Lyon.

**Maurice DOYON**

Professeur adjoint  
à la Faculté de médecine de Lyon

5 vol. gr. in-8° avec fig. en noir et en couleurs. En souscription. 60 fr.

## VOLUMES PUBLIÉS

- I. — **Fonctions élémentaires** : Prolégomènes, contraction, par J.-P. MORAT, Secrétion, milieu intérieur, par M. DOYON. 1 volume avec 194 figures. 15 fr.
- II. — **Fonctions d'innervation**, par J.-P. MORAT. 1 vol. avec 263 fig. 15 fr.
- III. — **Fonctions de nutrition** : Circulation, par M. DOYON; Calorification, par P. MORAT. 1 vol. avec 173 figures . . . . . 12 fr.
- IV. — **Fonctions de nutrition (suite et fin)** : Respiration, excrétion, par J.-P. MORAT; Digestion, Absorption, par M. DOYON. 1 vol. gr. in-8°, avec 167 figures. . . . . 12 fr.

# ♣ ♣ ♣ ♣ ♣ Précis d'Obstétrique

PAR MM.

**A. RIBEMONT-DESSAIGNES**

Agrégé de la Faculté de médecine  
Accoucheur de l'hôpital Beaujon  
Membre de l'Académie de médecine.

**G. LEPAGE**

Professeur agrégé à la Faculté  
de médecine de Paris.  
Accoucheur de l'hôpital de la Pitié.

SIXIÈME ÉDITION

avec 568 figures dans le texte, dont 400 dessinées par M. RIBEMONT-DESSAIGNES

1 vol. grand in-8° de 1420 pages, relié toile . . . 30 fr.

# Les Fractures des Os longs

## LEUR TRAITEMENT PRATIQUE

PAR LES DOCTEURS

**J. HENNEQUIN**

Membre de la Société de Chirurgie

**Robert LÖEWY**

Lauréat de l'Institut.

1 volume in-8° avec 215 figures dans le texte ; . . . 16 fr.

# Traité de Pathologie générale

Publié par **Ch. BOUCHARD**

Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté de Médecine de Paris.

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : **G.-H. ROGER**

Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris, Médecin des hôpitaux.

## COLLABORATEURS :

MM. ARNOZAN, D'ARSONVAL, BENNI, F. BEZANÇON, R. BLANCHARD, BOINET, BOULAY, BOURCY, BRUN, CADIOT, CHABRIÉ, CHANTEMESSE, CHARRIN, CHAUFFARD, J. COURMONT, DEJERINE, PIERRE DELBET, DEVIC, DUCAMP, MATHIAS DUVAL, FÉRÉ, GAUCHER, GILBERT, GLEY, GOUGET, GUIGNARD, LOUIS GUINON, J.-F. GUYON, HALLÉ, HÉNOCQUE, HUGOUNENQ, LAMBLING, LANDOUZY, LAVERAN, LEBRETON, LE GENDRE, LEJARS, LE NOIR, LERMOYERZ, LESNÉ, LETULLE, LUBET-BARBON, MARFAN, MAYOR, MENETRIER, MORAX, NETTER, PIERRET, RAVAUT, G.-H. ROGER, GABRIEL ROUX, RUFFER, SICARD, RAYMOND, TRIPPIER, VUILLEMIN, FERNAND WIDAL.

6 volumes grand in-8° avec figures dans le texte. . . . . 126 fr.

Tome I : 18 fr. — Tome II : 18 fr. — Tome III : 28 fr. — Tome IV : 16 fr. — Tome V : 28 fr. — Tome VI : 18 fr.

---

# Manuel de Pathologie externe

PAR MM.

**RECLUS, KIRMISSON, PEYROT, BOUILLY**

Professeurs agrégés à la Faculté de médecine de Paris, chirurgiens des hôpitaux.

*Septième édition illustrée entièrement revue.*

- I. Maladies des tissus et des organes, par le D<sup>r</sup> P. RECLUS.
- II. Maladies des régions, Tête et Rachis, par le D<sup>r</sup> KIRMISSON.
- III. Maladies des régions, Poitrine, Abdomen, par le D<sup>r</sup> PEYROT.
- IV. Maladies des régions, Organes génito-urinaires, par le D<sup>r</sup> BOUILLY

4 volumes in-8° avec figures dans le texte. . . . . 40 fr.

Chaque volume est vendu séparément . . . . . 10 fr.

---

# Précis de Technique opératoire < <

PAR LES PROSECTEURS

DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

AVEC INTRODUCTION PAR LE P<sup>c</sup> PAUL BERGER

Tête et Cou, par CH. LENORMANT. — Thorax et membre supérieur, par A. SCHWARTZ — Abdomen, par M. GUIBÉ. — Appareil urinaire et appareil génital de l'Homme, par PIERRE DUVAL. — Pratique courante et Chirurgie d'Urgence, par VICTOR VEAU. — Membre inférieur, par G. LABEY. — Appareil génital de la Femme, par ROBERT PROUST.

7 vol., cart. toile, avec environ 200 figures. Chaque volume : 4 fr. 50



Commentaire administratif et technique de la Loi du 15 Février 1902

RELATIVE A LA

# Protection de la Santé publique

PAR MM.

Le Dr **A.-J. MARTIN** et **Albert BLUZET**

Inspecteur général de l'Assainissement      Rédact. princip. au Bureau de l'Hygiène

1 vol. in-8° de 480 pages avec une *table alphabétique*.  
Broché, 7 fr. 50; cartonné toile, 8 fr. 50.

# L'Année Psychologique ♣ ♣ ♣

PUBLIÉE PAR

— 10<sup>e</sup> Année —

AVEC LA COLLABORATION DE

**Alfred BINET**

**H. BEAUNIS**

Docteur ès sciences

**V. HENRI**

Directr du Laboratoire de Psychologie physiologique  
de la Sorbonne (Hautes Etudes)

**TH. RIBOT**

Secrétaire de la rédaction : **LARGUIER DES BANCELS**

1 volume in-8° avec figurés dans le texte . . . . . 15 fr.

# ♣ ♣ ♣ Traité de Physique biologique

publié sous la direction de MM.

**D'ARSONVAL — GARIEL — CHAUVEAU — MAREY**

Secrétaire de la rédaction : **M. WEISS**

Ingénieur des Ponts et Chaussées

Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris

3 vol. in-8°. En souscription . . . . . 70 fr.

**TOME PREMIER.** 1 vol. in-8° de 1150 pages avec 591 figures . . . . . 25 fr.  
**TOME II.** 1 volume de 1144 pages avec 665 figures et 3 planches. . . . . 25 fr.

**L'ŒUVRE MÉDICO-CHIRURGICAL** (Dr CRITZMAN, directeur)

# Suite de Monographies cliniques

## DERNIÈRES MONOGRAPHIES PUBLIÉES

- 36. La Médication phosphorée, par le prof. GILBERT et le Dr POSTERNAK.
- 37. Pathogénie et traitement des névroses intestinales (*colite ou entéro-névrose muco-membraneuse*), par le Dr GASTON LYON.
- 38. De l'Enucléation des fibromes utérins, par TH. TUFFIER, professeur agrégé.

SUR LES QUESTIONS NOUVELLES  
EN MÉDECINE

EN CHIRURGIE ET EN BIOLOGIE

Chaque monographie est vendue  
séparément . . . 1 fr. 25

Il est accepté des abonnements pour une série de 10 monographies au prix payable d'avance de 10 fr. pour la France et 12 fr. pour l'étranger (port compris).

8 **MASSON ET C<sup>ie</sup>**, Libraires de l'Académie de Médecine

---

QUATRIÈME ÉDITION REVUE ET AUGMENTÉE

→ → → **Traité de Chirurgie d'Urgence**

Par **Félix LEJARS**

Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris  
Chirurgien de l'hôpital Tonon, membre de la Société de Chirurgie.

820 fig. dont 478 dessinées par le D<sup>r</sup> E. DALEINE et 16 planches en couleurs.

1 vol. grand in-8° de 1046 pages. Relié toile. . . . 30 fr.

---

**Traité des Maladies de l'Enfance** ←

Deuxième Édition, revue et augmentée

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DE MM.

**J. GRANCHER**

**J. COMBY**

Professeur à la Faculté de Paris  
Membre de l'Académie de médecine.

Médecin  
de l'hôpital des Enfants-Malades.

5 vol. grand in-8° avec figures dans le texte. En souscription. 100 fr.

Tome I, 22 fr. — Tome II, 22 fr. — Tome III, 22 fr. — Tome IV, 22 fr.

---

→ → **Traité de Technique opératoire**

**CH. MONOD**

PAR

**J. VANVERTS**

Prof. agrégé à la Faculté de Paris  
Membre de l'Académie de médecine

Chef de clinique à la Faculté  
de médecine de Lille

2 vol. gr. in-8° formant ensemble 1960 pages, avec 1908 figures  
dans le texte . . . . . 40 fr.

---

**Traité d'Anatomie pathologique générale**

PAR **R. TRIPIER**

Professeur d'Anatomie pathologique à la Faculté de Lyon.

1 vol. grand in-8°, avec 239 figures en noir et en couleurs. 25 fr.

---

→ → **Le Système nerveux central** ← ←

Structure et fonctions. Histoire critique des théories et des doctrines

Par **J. SOURY**

Docteur ès lettres, directeur d'études à l'École pratique des Hautes-Études  
à la Sorbonne.

In-8 jésus de x-1868 pages, avec 25 fig., cart. à l'angl., en 2 vol. : 50 fr.  
Relié en 1 vol., dos chagrin : 52 fr.

**Les Maladies infectieuses**, par G.-H. ROGER, professeur agrégé, médecin des hôpitaux. 1 vol. in-8° de 1520 pages. 28 fr.

**Les Maladies du Cuir chevelu**, par le Dr R. SABOURAUD, chef du laboratoire de la Ville de Paris à l'hôpital Saint-Louis.

I. Maladies séborrhéiques : Séborrhée, Acnés, Calvitie. 1 vol. in-8°, avec 91 fig. dont 40 aquarelles en coul. . 10 fr.

II. Maladies desquamatives : Pytiriasis et Alopécies pelli-  
culaires. 1 vol. in-8° avec 122 figures dans le texte . 22 fr.

**Les Maladies microbiennes des Animaux**, par Ed. NOCARD, professeur à l'École d'Alfort, membre de l'Académie de médecine, et E. LECLAINCHE, professeur à l'École de Toulouse. *Troisième édition, refondue.* 2 vol. grand in-8°. . . . . 22 fr.

**Traité d'Hygiène**, par le Prof. A. PROUST, membre de l'Académie de médecine. *Troisième édition revue et considérablement augmentée*, avec la collaboration de A. NETTER, agrégé, médecin de l'hôpital Trousseau, et H. BOURGES, chef du laboratoire d'hygiène à la Faculté. 1 vol. in-8° de 1240 pages, avec fig. et cartes. 25 fr.

**L'Anesthésie localisée par la Cocaïne**, par PAUL RECLUS, professeur à la Faculté de Paris, chirurgien de l'hôpital Laënnec, membre de l'Académie de médecine. 1 vol. petit in-8°, avec 59 figures . . . . . 4 fr.

**Les Difformités acquises de l'Appareil locomoteur, pendant l'Enfance et l'Adolescence**, par le Prof. E. KIRMISSON, chirurgien de l'hôpital Trousseau. 1 volume in-8°, avec 430 figures dans le texte . . . . . 15 fr.

Ce volume fait suite au **Traité des Maladies chirurgicales d'origine congénitale** (312 figures et 2 planches en couleurs). *Publié en 1898* . . 15 fr.

**Nouveaux Procédés d'Exploration**, par CH. ACHARD, professeur à la Faculté de Paris, agrégé. *Deuxième édition.* 1 vol. in-8° avec figures. . . . . 8 fr.

**Thérapeutique des Maladies de la Peau**, par le Dr LE-  
REDDE, directeur de l'Établissement Dermatologique de Paris. 1 vol. in-8°, avec figures dans le texte . . . . . 10 fr.

# Bibliothèque Diamant

## des Sciences médicales et biologiques

*Cette collection est publiée dans le format in-16 raisin, avec nombreuses figures dans le texte, cartonnage à l'anglaise, tranches rouges.*

*Vient de paraître :*

**Manuel de Pathologie interne**, par G. DIEULAFOY, professeur à la Faculté de médecine de Paris. *Quatorzième édition entièrement refondue et augmentée.* 4 vol. avec fig. en n. et en coul. 32 fr.

**Éléments de Physiologie**, par Maurice ARTHUS, chef de laboratoire à l'Institut Pasteur de Lille. 1 vol., avec figures . . . 8 fr.

**Éléments de Chimie physiologique**, par Maurice ARTHUS, professeur à l'Université de Fribourg (Suisse). *Quatrième édition revue et corrigée.* 1 volume, avec figures. . . . . 5 fr.

**Précis d'Anatomie pathologique**, par M. L. BARD, professeur à la Faculté de médecine de Lyon. *Deuxième édition revue et augmentée.* 1 volume, avec 125 figures . . . . . 7 fr. 50

**Manuel de Thérapeutique**, par le Dr BERLIOZ, professeur à l'Université de Grenoble, avec préface du professeur BOUCHARD. *Quatrième édition revue et augmentée.* 1 vol. . . . . 6 fr.

**Manuel de Bactériologie médicale**, par le Dr BERLIOZ, avec préface de M. le professeur LANDOUZY. 1 vol. avec fig. . . . 6 fr.

**Précis de Chirurgie cérébrale**, par Aug. BROCA, chirurgien de l'hôpital Tenon, professeur agrégé à la Faculté de médecine. 1 vol. avec figures . . . . . 6 fr.

**Manuel d'Anatomie microscopique et d'Histologie**, par M. P.-E. LAUNOIS, professeur agrégé à la Faculté de médecine. Préface de M. le Professeur Mathias DUVAL. *Deuxième édition entièrement refondue.* 1 volume avec 261 figures . . . . . 8 fr.

**Précis élémentaire d'Anatomie, de Physiologie et de Pathologie**, par P. RUDAUX, ancien chef de clinique à la Faculté de Paris, avec préface par M. RIBEMONT-DESSAIGNES. 1 vol., avec 462 figures. . . . . 8 fr.

**Manuel de Diagnostic médical et d'Exploration clinique**, par P. SPILLMANN, professeur à la Faculté de médecine de Nancy, et P. HAUSHALTER, professeur agrégé. *Quatrième édition entièrement refondue.* 1 vol. avec 89 figures . . . . . 6 fr.

**Précis de Microbie. Technique et microbes pathogènes**, par M. le Dr L.-H. THOINOT, professeur agrégé à la Faculté, et E.-J. MASSE-LIN, médecin-vétérinaire. *Quatrième édition entièrement refondue.* 1 volume, avec figures en noir et en couleurs . . . . . 8 fr.

**Précis de Bactériologie clinique**, par le Dr R. WURTZ, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Paris. *Deuxième édition revue et augmentée.* 1 volume, avec tableaux et figures. . . . 6 fr.

# Action des Médicaments ♡ ♡

PAR Sir LAUDER BRUNTON

Docteur en médecine et en droit de l'Université d'Édimbourg.

Traduit de l'anglais par E. BOUQUÉ et J.-F. HEYMANS

Professeurs à l'Université de Gand.

1 vol. in-8° jésus de 596 pages avec 146 figures. Broché . . . 18 fr.

# Bibliothèque d'Hygiène thérapeutique

FONDÉE PAR

Le Professeur PROUST

Membre de l'Académie de médecine, Médecin de l'Hôtel-Dieu,  
Inspecteur général des Services sanitaires.

Chaque ouvrage, in-16, cartonné toile, tranches rouges : 4 fr.

L'Hygiène du Goutteux. — L'Hygiène de l'Obèse. — L'Hygiène des Asthmatiques. — L'Hygiène du Syphilitique. — Hygiène et thérapeutique thermales. — Les Cures thermales. — L'Hygiène du Neurasthénique. — L'Hygiène des Albuminuriques. — L'Hygiène du Tuberculeux. — Hygiène et thérapeutique des maladies de la Bouche. — Hygiène des Maladies du Cœur. — Hygiène du Diabétique. — L'Hygiène du Dyspeptique. — Hygiène thérapeutique des Maladies des Fosses nasales.

# Glossaire médical illustré ♡

PAR LES DOCTEURS

L. LANDOUZY

Professeur à la Faculté de Paris,  
Membre de l'Académie de médecine.

F. JAYLE

Chef de clinique de la Faculté  
à l'Hôpital Broca.

1 vol. in-8° carré de 664 pages, avec 426 figures et 5 cartes en couleurs.  
Cartonné. . . 18 fr. | Broché. . . . 16 fr.

# ♡ ♡ L'Hygiène pour tous ♡ ♡

PAR C. PAGÈS

Docteur en médecine et des sciences, vétérinaire sanitaire de la Seine.

1 vol. in-8° carré de xxii-644 pages, avec 16 figures. Broché . . . 8 fr.

Vient de paraître :

# Traité de Chimie minérale

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE  
**HENRI MOISSAN**  
Membre de l'Institut.

5 forts volumes grand in-8°, avec figures. En souscription. 125 fr.

Il est accepté, dès à présent et jusqu'à la date du 31 décembre 1904, des souscriptions à l'ouvrage complet au prix à forfait de 125 francs.

Les souscripteurs paieront en retirant chaque fascicule le prix marqué, mais le dernier fascicule leur sera fourni gratuitement ou à un prix tel qu'ils n'aient, en aucun cas, payé plus de 125 fr. pour le total de l'ouvrage.

Les fascicules seront vendus séparément à des prix différents et fixés selon leur importance.

Le fascicule I de chaque volume sera vendu séparément jusqu'à la publication du fascicule II. A ce moment, les deux fascicules seront réunis et seul le volume complet sera mis en vente.

Néanmoins le fascicule II de chaque volume continuera à être vendu séparément pour permettre aux acheteurs du fascicule I de compléter leur volume.

## EN VENTE :

|                                 |        |
|---------------------------------|--------|
| TOME I. — Métalloïdes . . . . . | 28 fr. |
| TOME III. — Métaux. . . . .     | 34 fr. |

**Traité de Chimie industrielle**, par R. WAGNER et F. FISCHER.  
*Quatrième édition française entièrement refondue. Rédigée d'après la quinzième édition allemande, par le D<sup>r</sup> L. Gautier. 2 volumes grand in-8° avec de nombreuses figures. . . . .* 35 fr.

**Le Constructeur**, par F. REULEAUX. *Troisième édition française, par A. Debize. 1 volume in-8° avec 184 figures. . . . .* 30 fr.

**Traité d'Analyse chimique qualitative**, par R. FRÉSENIUS.  
*Dixième édition française d'après la 16<sup>e</sup> édition allemande, par L. Gautier. 1 vol. in-8°. . . . .* 7 fr.

**Traité d'Analyse chimique quantitative**, par R. FRÉSENIUS.  
*Septième édition française, traduite sur la 6<sup>e</sup> édition allemande, par L. Gautier. 1 vol. in-8°. . . . .* 16 fr.

**Traité d'Analyse chimique quantitative par Electrolyse**, par J. RIBAN, professeur chargé du cours d'Analyse chimique à la Faculté des Sciences de Paris. 1 volume avec 96 figures. . . . . 9 fr.

**Manuel pratique de l'Analyse des Alcools et des Spiritueux**, par Charles GIRARD et Lucien CUNIASSE, chimiste-expert de la Ville de Paris. 1 vol. in-8° avec figures et tableaux . . . . . 7 fr.

**Précis de Chimie analytique**, par J.-A. MULLER, docteur ès sciences, professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger. 1 volume in-12, broché . . . . . 3 fr.

---

# Physique du Globe et Météorologie

PAR **Alphonse BERGET**

Docteur ès sciences.

1 vol. in-8° de 365 pages avec 128 figures et 14 cartes hors texte.

Broché : 15 fr.

---

# Les Insectes Morphologie - Reproduction Embryogénie

PAR **L.-F. HENNEGUY**

Professeur d'Embryogénie comparée au Collège de Franco.

Leçons recueillies par **A. LECAILLON** et **J. POIRAUT**

1 volume grand in-8° avec 622 figures, 4 planches en couleurs : 30 fr.

---

# ✧ ✧ ✧ Zoologie pratique ✧ ✧ ✧

Basée sur la dissection des Animaux les plus répandus

PAR **Léon JAMMES**

Maître de conférences de Zoologie à l'Université de Toulouse.

1 volume grand in-8°, avec 317 figures par l'auteur. Relié toile : 18 fr.

---

# Éléments de Paléobotanique

PAR **R. ZEILLER**

Membre de l'Institut, Professeur à l'École supérieure des Mines.

1 vol. in-8° raisin de 421 pages avec 210 figures. Cart. à l'angl. : 20 fr.

---

**Précis de Géographie économique**, par MM. **Marcel DUBOIS**, Professeur à la Faculté des Lettres de Paris, et **J.-G. KERGOMARD**, Professeur au Lycée de Nantes. *Deuxième édition entièrement refondue*, avec la collaboration de **M. Louis Laffitte**, Professeur à l'École de Commerce de Nantes. 1 vol. in-8° . . . . . 8 fr.

**Géographie agricole de la France et du Monde**, par **J. DU PLESSIS DE GRENÉDAN**, Professeur à l'École supérieure d'Agriculture d'Angers, avec une préface de **M. le Marquis de Vogué**, de l'Académie française. 1 vol. in-8° avec 118 cartes et figures dans le texte . . . . . 7 fr.

**Chimie Végétale et Agricole** (*Station de Chimie végétale de Meudon, 1883-1889*), par **M. BERTHELOT**. 4 vol. in-8° avec figures 36 fr.

# Traité de Zoologie ♣ ♣ ♣ ♣ ♣ ♣

Par **Edmond PERRIER**

Membre de l'Institut et de l'Académie de médecine,  
Directeur du Muséum d'Histoire naturelle.

|                                                                                                                |        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| FASCICULE I : Zoologie générale. 1 vol. gr. in-8° de 412 p. avec 458 figures dans le texte . . . . .           | 12 fr. |
| FASCICULE II : Protozoaires et Phytozoaires. 1 vol. gr. in-8° de 452 p., avec 243 figures. . . . .             | 10 fr. |
| FASCICULE III : Arthropodes. 1 vol. gr. in-8° de 480 pages, avec 278 figures . . . . .                         | 8 fr.  |
| Ces trois fascicules réunis forment la première partie. 1 vol. in-8° de 1344 pages, avec 980 figures . . . . . |        |
| FASCICULE IV : Vers et Mollusques. 1 vol. gr. in-8° de 792 pages, avec 566 figures dans le texte . . . . .     | 16 fr. |
| FASCICULE V : Amphioxus. Tuniciers. 1 vol. gr. in-8° de 221 p. avec 97 figures dans le texte . . . . .         | 6 fr.  |
| FASCICULE VI : Poissons. 1 vol. gr. in-8° de 366 pages avec 190 figures dans le texte. . . . .                 | 10 fr. |
| FASCICULE VII et dernier : Vertébrés marcheurs ( <i>En préparation</i> ).                                      |        |

## Guides du Touriste, du Naturaliste et de l'Archéologue

publiés sous la direction de M. Marcellin BOULE

### VOLUMES PUBLIÉS

**Le Cantal**, par M. BOULE, docteur ès sciences, et L. FARGES, archi-  
viste-paléographe.

**La Lozère**, par E. CORD, ingénieur-agronome, G. CORD, docteur en  
droit, avec la collaboration de M. A. VIRÉ, docteur ès sciences.

**Le Puy-de-Dôme et Vichy**, par M. BOULE, docteur ès  
sciences, Ph. GLANGEAUD, maître de conférences à l'Université de  
Clermont, G. ROUCHON, archiviste du Puy-de-Dôme, A. VERNIÈRE,  
ancien président de l'Académie de Clermont.

**La Haute-Savoie**, par MARC LE ROUX, conservateur du Musée  
d'Annecy.

**La Savoie**, par J. RÉVIL, président de la Société d'Histoire  
naturelle de la Savoie, et J. CORCELLE, agrégé de l'Université.

Chaque volume in-16, relié toile anglaise avec figures et cartes  
en couleurs. . . . . 4 fr. 50

*En préparation* : **Le Velay — les Alpes du Dauphiné.**



OUVRAGES DE M. A. DE LAPPARENT

Membre de l'Institut, professeur à l'École libre des Hautes-Études.

❖ ❖ ❖ ❖ ❖ ❖ **Traité de Géologie**

QUATRIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFOUNDUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE  
3 vol. grand in-8°, avec nomb. fig., cartes et croquis . . 35 fr.

- Abrégé de géologie.** *Cinquième édition, refondue et augmentée.* 1 vol. 157 gravures et une carte géologique de la France en chromolithographie, cartonné toile . . . . . 4 fr.
- Notions générales sur l'écorce terrestre.** 1 vol. in-16 de 156 pages avec 33 figures, broché. . . . . 1 fr. 20
- La géologie en chemin de fer.** Description géologique du Bassin parisien et des régions adjacentes. 1 vol. in-18 de 608 pages, avec 3 cartes chromolithographiées, cartonné toile. . . . . 7 fr. 50
- Cours de minéralogie.** *Troisième édition, revue et augmentée.* 1 vol. grand in-8° de xx-703 pages avec 619 gravures dans le texte et une planche chromolithographiée. . . . . 15 fr.
- Précis de minéralogie.** *Troisième édition, revue et augmentée.* 1 vol. in-16 de xii-398 pages avec 235 gravures dans le texte et une planche chromolithographiée, cartonné toile. . . . . 5 fr.
- Leçons de géographie physique.** *Deuxième édition, revue et augmentée.* 1 vol. grand in-8° de xvi-718 pages avec 162 figures dans le texte et une planche en couleurs. . . . . 12 fr.
- Le siècle du Fer.** 1 vol. in-18 de 360 pages, broché . . . . . 2 fr. 50

**Petite Bibliothèque de "La Nature"**

- Recettes et Procédés utiles,** recueillis par Gaston TISSANDIER, rédacteur en chef de la *Nature*. *Dixième édition.*
- Recettes et Procédés utiles.** *Deuxième série : La Science pratique,* par Gaston TISSANDIER. *Sixième édition.*
- Nouvelles Recettes utiles et Appareils pratiques.** *Troisième série,* par Gaston TISSANDIER. *Quatrième édition.*
- Recettes et Procédés utiles.** *Quatrième série,* par Gaston TISSANDIER. *Troisième édition.*
- Recettes et Procédés utiles.** *Cinquième série,* par J. LAFFARGUE, secrétaire de la rédaction de la *Nature*. *Deuxième édition.*

Chaque volume in-18 avec figures est vendu

Broché . . . . . 2 fr. 25 | Cartonné toile . . . . . 3 fr.

**La Physique sans appareils et la Chimie sans laboratoire,** par Gaston TISSANDIER. *Ouvrage couronné par l'Académie (Prix Montyon).* Un volume in-8° avec nombreuses figures dans le texte. Broché, 3 fr. Cartonné toile, 4 fr.

# Le Radium ♣ ♣ ♣ ♣ ♣ ♣ ♣ ♣ ♣

La Radioactivité et les Radiations  
Les Sciences qui s'y rattachent et leurs applications

COMITÉ DE DIRECTION :

D'ARSONVAL, H. BECQUEREL, ÉCLÈRE, R. BLONDLOT, CH. BOUCHARD,  
P. CURIE, DANYSZ, DEBIERNE, CH. FERRY,  
FINSEN, CH.-E. GUILLAUME, OUDIN, RUBENS, RUTHERFORD.

Secrétaire de la Rédaction : JACQUES DANNE

Revue mensuelle.

Paris et Départements, 12 fr. — Étranger, 15 fr. — Le Numéro, 1 fr.

---

# ♣ ♣ ♣ La Nature ♣ ♣ ♣ ♣ ♣ ♣ ♣ ♣ ♣

REVUE HEBDOMADAIRE DES SCIENCES ET DE LEURS APPLICATIONS  
AUX ARTS ET A L'INDUSTRIE

---

DIRECTEUR : Henri de PARVILLE

Abonnement annuel : Paris : 20 fr. — Départements : 25 fr. —  
Union postale : 26 fr.

Abonnement de six mois : Paris : 10 fr. — Départements : 12 fr. 50.  
— Union postale : 13 fr.

---

MATÉRIAUX POUR L'HISTOIRE DE L'HOMME  
REVUE D'ANTHROPOLOGIE, REVUE D'ETHNOGRAPHIE RÉUNIES

---

# ♣ ♣ ♣ ♣ ♣ ♣ L'Anthropologie ♣

Paraissant tous les deux mois.

RÉDACTEURS EN CHEF :

MM. BOULE et VERNEAU

Un an : PARIS, 25 FR.; DÉPARTEMENTS, 27 FR.; UNION POSTALE, 28 FR.

---

# ♣ La Presse Médicale ♣ ♣ ♣ ♣

Journal bi-hebdomadaire, paraissant le Mercredi et le Samedi

RÉDACTION : E. DE LAVARENNE, DIRECTEUR

SECRETARIAT : P. DESFOSSÉS — J. DUMONT — R. ROMME

---

DIRECTION SCIENTIFIQUE

F. DE LAPERSONNE, E. BONNAIRE, E. DE LAVARENNE, L. LANDOUZY,  
M. LETULLE, J.-L. FAURE, H. ROGER, M. LERMOYEZ, F. JAYLE

Paris et Départements, 10 fr.; Union postale, 15 fr.

---

Paris. — L. MARETHEUX, imprimeur, 1, rue Cassette. — 8308.

---

Section de l'Ingénieur

PICOU. — Distribution de l'électricité. (2 vol.). — Canalisations électriques.  
 DWILSHAUVERS-DERY. — Machine à vapeur. — I. Calorimétrie. — II. Dynamique.  
 A. MADAMET. — Tiroirs et distributeurs de vapeur. — Détente variable de la vapeur. — Epures de régulation.  
 AIMÉ WITZ. — I. Thermodynamique. — II. Les moteurs thermiques.  
 H. GAUTIER. — Essais d'or et d'argent.  
 BERTIN. — Etat de la marine de guerre.  
 BERTHELOT. — Calorimétrie chimique.  
 DE VIARIS. — L'art de chiffrer et déchiffrer les dépêches secrètes.  
 GUILLAUME. — Unités et étalons.  
 WIDMANN. — Principes de la machine à vapeur.  
 MINEL (P.). — Electricité industrielle. (2 vol.). — Electricité appliquée à la marine. — Régularisation des moteurs des machines électriques.  
 HERBERT. — Boissons falsifiées.  
 NAUDIN. — Fabrication des vernis.  
 SINIGAGLIA. — Accidents de chaudières.  
 VERMAND. — Moteurs à gaz et à pétrole.  
 BLOCH. — Eau sous pression.  
 DE MARCHENA. — Machines frigorifiques (2 vol.).  
 PRUD'HOMME. — Teinture et impression.  
 SOREL. — I. La rectification de l'alcool. — II. La distillation.  
 DE BILLY. — Fabrication de la fonte.  
 HENNEBERT (C). — I. La fortification. — II. Les torpilles sèches. — III. Bouches à feu. — IV. Attaque des places. — V. Travaux de campagne. — VI. Communications militaires.  
 CASPARI. — Chronomètres de marine.  
 LOUIS JACQUET. — La fabrication des eaux-de-vie.  
 DUBOUT et CRONEAU. — Appareils accessoires des chaudières à vapeur.  
 C. BOURLLET. — Bicycles et bicyclettes.  
 H. LÉAUTÉ et A. BÉRARD. — Transmissions par câbles métalliques.  
 HATT. — Les marées.  
 H. LAURENT. — I. Théorie des jeux de hasard. — II. Assurances sur la vie. — III. Opérations financières.  
 C. VALLIER. — Balistique (2 vol.). — Projectiles. Fusées. Cuirasses (2 vol.).  
 LÉLOUTRA. — Machines à vapeur. I. Fonctionnement. — II. Echappement.  
 DARIÉS. — Cubature des terrasses. — Conduites d'eau. — Calcul des canaux.  
 SIDERSKY. — I. Polarisation et saccharimétrie. — II. Constantes physiques.  
 NIEWENGLOWSKI. — Applications scientifiques et industrielles de la photographie (2 vol.). — Chimie des manipulations photographiques (2 vol.)  
 ROCQUES (X.). — Alcools et eaux-de-vie. — Le Cidre.  
 MOESSARD. — Topographie.  
 BOURSALUT. — Calcul du temps de pose. — Eaux potables et industrielles.  
 SEGONLA. — Les tramways.  
 LEFEVRE (J.). — Les mesures de vitesse

— II. La spectrométrie. — III. Eclairage électrique. — IV. Eclairage aux gaz, aux huiles, aux acides gras. — V. Liquefaction des gaz.  
 BARILLOT (E.). — Distillation des bois.  
 MOISSAN et OUVRARD. — Le nickel.  
 URBAIN. — Les succédanés du chiffon en papeterie.  
 LOPPÉ. — I. Accumulateurs électriques. — II. Transformateurs de tension.  
 ARIÈS. — I. Chaleur et énergie. — II. Thermodynamique.  
 FABRY. — Piles électriques.  
 HENRIET. — Les gaz de l'atmosphère.  
 DUMONT. — Electromoteurs. — Automobiles sur rails.  
 MINET (A.). — I. L'électro-metallurgie. — II. Les fours électriques. — III. L'électro-chimie. — IV. L'électrolyse. — V. Analyses électrolytiques. — VI. Galvanoplastie et Galvanostégie.  
 DUFOUR. — Tracé d'un chemin de fer.  
 MIRON (F.). — Les huiles minérales.  
 BORNECQUE. — Armement portatif.  
 LAVERGNE. — Les turbines.  
 PÉRISSÉ. — Automobiles sur routes.  
 LECORNU. — Régularisation du mouvement dans les machines.  
 LE VERRIER. — La fonderie.  
 SKYRIG. — Statique graphique (2 vol.).  
 LAURENT (P.). — Déculassement des bouches à feu. — Résistance des bouches à feu.  
 JAUBERT. — Goudron de houille. — Matières colorantes. — Matières odorantes. — Produits aromatiques. — Parfums comestibles. — Garance et Indigo.  
 CLERC. — Photographie des couleurs.  
 GOURÉ DE VILLEMONTÉ. — Résistance électrique.  
 LABBÉ. — Essai des huiles essentielles.  
 VANUTBERGHE. — Exploitation des forêts (2 vol.).  
 VIGNERON ET LETHULE. — Mesures électriques (2 vol.).  
 POZZI-ESCOT. — Analyse chimique (2 v.). — Analyse des gaz. — Les Diastases.  
 PERSOZ. — Essai des matières textiles.  
 THOMAS. — I. Phénomènes de dissolution et leurs applications. — II. Matières colorantes naturelles. — III. Plantes tinctoriales.  
 GAGES. — Métaux dérivés du fer : I. Leur travail. — II. Leur élaboration : Foyers métallurgiques. — III. Leur élaboration : Réactions métallurgiques.  
 BLONDEL. — Moteurs synchrones à courants alternatifs.  
 GUICHARD. — I. Analyse des eaux potables. — II. L'eau potable devant les municipalités.  
 RIGAUD. — Expertises et Arbitrages.  
 HALPHEN. — Analyse des matières grasses.  
 ASTRUC. — Le Vin.  
 D'ÉQUEVILLE. — Les bateaux sous-marins et les submersibles.  
 GAY. — Les câbles sous-marins. Fabrication.

# ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

## Derniers ouvrages parus

### Section du Biologiste

FAISANS. — Maladies des organes respiratoires.  
 MAGNAN et SÉRIEUX. — I. Le délire chronique. — II. La paralysie générale.  
 G. WEISS. — Electro-physiologie.  
 BAZY. — Maladies des voies urinaires. (4 vol.).  
 TROUSSEAU. — Hygiène de l'œil.  
 FERRÉ. — Epilepsie.  
 LAVERAN. — Paludisme.  
 POLIN et LABIT. — Aliments suspects.  
 BERGONIÉ. — Physique du physiologiste et de l'étudiant en médecine.  
 MEGNIN. — I. Les acariens parasites. — II. La faune des cadavres.  
 DEMELIN. — Anatomie obstétricale.  
 TH. SCHÜESING fils. — Chimie agricole.  
 CUÉNOT. — I. Les moyens de défense dans la série animale. — II. L'influence du milieu sur les animaux.  
 A. OLIVIER. — L'accouchement normal.  
 BERGÉ. — Guide de l'étudiant à l'hôpital.  
 CHARRIN. — Poisons de l'organisme (3 vol.).  
 ROGER. — Physiologie du foie.  
 BROcq et JACQUET. — Précis élémentaire de dermatologie (5 vol.).  
 HANOT. — De l'endocardite aiguë.  
 DE BRUN. — Maladies des pays chauds. (2 vol.).  
 BROCA. — Tumeurs blanches des membres chez l'enfant.  
 DU CAZAL et CATRIN. — Médecine légale militaire.  
 LAFERONNE (DE). — Maladies des pauvères.  
 FÖHLER. — Applications de la photographie aux sciences naturelles.  
 BEAUREGARD. — Le microscope.  
 LESAGE. — Le choléra.  
 LANNELONGUE. — La tuberculose chirurgicale.  
 CORNEVIN. — Production du lait.  
 J. CHATIN. — Anatomie comparée (4 vol.).  
 CASTEX. — Hygiène de la voix.  
 MERKLEN. — Maladies du cœur.  
 G. ROCHÉ. — Les grandes pêches maritimes modernes de la France.  
 OLLIER. — I. Résections sous-périostées. — II. Résections des grandes articulations.  
 LETULLE. — Pus et suppuration.  
 CRITZMAN. — Le cancer. — La goutte.  
 ARMAND GAUTIER. — La chimie de la cellule vivante.  
 SÉGLAS. — Le délire des négations.  
 STANISLAS MEUNIER. — Les météorites.  
 GREHANT. — Les gaz du sang.  
 NOCARD. — Les tuberculoses animales et la tuberculose humaine.  
 MOUSSOU. — Maladies congénitales du cœur.  
 BERTHAULT. — Les prairies (3 vol.).  
 TROUSSART. — Parasites des habitations humaines.  
 LAMY. — Syphilis des centres nerveux.  
 RECLUS. — La cocaïne en chirurgie.  
 THOULET. — Océanographie pratique.

HOUDAILLE. — Météorologie agricole.  
 VICTOR MEUNIER. — Sélection et perfectionnement animal.  
 HÉNOCCQUE. — Spectroscopie biologique (3 vol.).  
 GALIPPE et BARRÉ. — Le pain (2 v.).  
 LE DANTEC. — I. La matière vivante. — II. La bactériologie charbonneuse. — III. La forme spécifique.  
 L'HÔTE. — Analyse des engrais.  
 LARBALETRIER. — Les tourteaux. — Résidus industriels employés comme engrais (2 vol.). — Beurre et margarine. — Tourbe et Tourbières. — Sel, Salines et Marais salants.  
 LE DANTEC et BERARD. — Les sporozoaires.  
 DEMMLER. — Soins aux malades.  
 DALLEMAGNE. — La criminalité (3 vol.). — La volonté (3 vol.).  
 BRAULT. — Des artérites (2 vol.).  
 RAVAZ. — Reconstitution du vignoble.  
 EHLERS. — L'ergotisme.  
 BONNIER. — L'oreille (5 vol.).  
 DESMOULINS. — Conservation des produits et denrées agricoles.  
 LOVERDO. — Le ver à soie.  
 DUBREUILH et BEILLE. — Les parasites animaux de la peau humaine.  
 KAYSER. — Les levures.  
 COLLET. — Troubles auditifs des maladies nerveuses. — Laryngoscopie.  
 LOUBIÉ. — Essences forestières (2 vol.).  
 MONOD. — L'appendicite.  
 DELOBEL et COZETTE. La vaccine.  
 WURTZ. — Technique bactériologique.  
 BAUBY. — L'occlusion intestinale.  
 LAULANIK. — Energétique musculaire.  
 MALPEAUX. — La pomme de terre. — La betterave à sucre.  
 GIRAudeau. — Péricardites.  
 BERTHELOT (M.). — Chaleur animale (2 vol.).  
 MAURANGE (G.). — Péritonite tuberculeuse.  
 MARTIN (O.). — La fièvre typhoïde.  
 GOUGET. — Insuffisance hépatique.  
 GASSER. — Analyse des eaux potables.  
 MARIE. — La Rage.  
 ROMME. — I. L'alcoolisme et la lutte contre l'alcool en France. — II. La lutte sociale contre la Tuberculose.  
 HERDON. — Physiologie du Pancréas.  
 PLUMANDON. — Les Orages et la Grêle.  
 SEURAT. — L'Huître pélière.  
 ALQUIER. — Aliments végétaux du Bétail. — I. Analyse élémentaire. — II. Analyse immédiate.  
 PACTET et COLIN. — I. Les Aliénés devant la Justice. — II. Les Aliénés dans les Prisons.  
 VASCHIDE et VURPAS. — Psychologie du Délire.  
 VOUZELLE. — La Syphilis : I. Chancre et Syphilis secondaire. — II. Syphilis tertiaire et Hérédo-Syphilis.  
 BODIN. — Les Champignons parasites de l'Homme.