

LA
GENÈSE DES GISEMENTS⁽¹⁾

PAR

LÉON DEMARET

Ingénieur principal au Corps des Mines, à Mons,
Docteur en sciences,
Ingénieur électricien sorti de l'Institut Montefiore.

Utilité pratique des théories.

A la base de la Géologie économique se trouve l'étude de la genèse des gisements; les théories qui rendent compte de leur formation présentent, en effet, un côté utilitaire pour les praticiens qui en font des applications dans les recherches, l'exploitation et l'évaluation des mines.

Dans ces trois cas, la première inconnue à chercher à déterminer est l'*extension du gisement en profondeur*; car les indications sur cette extension du gisement en profondeur guident les recherches et l'exploitation; et donnant l'estimation du tonnage, elles fournissent un élément de l'évaluation du gisement.

Les « gisements », pour les ingénieurs des mines, sont seuls ceux qui sont exploitables avec bénéfice probable; ce sont les seuls dont la Géologie économique ait à s'occuper.

(1) Conférence donnée à la Société belge des Ingénieurs et des Industriels à Bruxelles, le 24 janvier 1906.



De la persistance en profondeur des gisements exploitables

Dans les pays où l'exploitation date parfois de plusieurs siècles, la profondeur atteinte par les travaux est souvent considérable : 600, 1,000, 1,500 mètres. La question que chacun se pose est la suivante : Jusqu'où l'exploitation descendra-t-elle ?

Cette question peut être envisagée à trois points de vue : celui des moyens mécaniques, celui de la possibilité d'exploitation malgré l'élévation de la température et celui de la persistance du gisement en profondeur.

a) Je ne m'occuperai pas de la première question, celle des moyens mécaniques, sinon pour dire que la mécanique a toujours résolu jusqu'à présent les cas qui se sont présentés.

b) Je ne dirai qu'un mot de l'élévation de la température due à la profondeur.

Le degré géothermique, c'est-à-dire la profondeur dont on doit s'enfoncer pour trouver aux roches un accroissement de température de 1°, est de 30 à 45 mètres jusque 2,000 mètres de profondeur sous nos latitudes (1); de sorte que vers la profondeur de 10,000 mètres, soit le 1/60^e du rayon terrestre, les roches doivent être en fusion; cette profondeur est donc l'épaisseur de l'écorce solide du globe terrestre; mais déjà vers 2,000 mètres la température des roches sera d'environ 65° C.

Dans le voisinage des massifs éruptifs, la température s'élève beaucoup plus vite avec la profondeur.

(1) Au puits n° 18 du Charbonnage des Produits à Flénu (Belgique), la température de 47° a été déterminée pour les roches, dans un trou de sonde à l'étage de 1,150 mètres.

Nous considérerons *grosso modo* que la limite d'exploitation sera 2,000 mètres; je sais bien qu'on a suggéré l'idée de descendre dans la mine de l'air solidifié pour refroidir la roche; mais il faudra pour couvrir de pareils frais d'exploitation que le gisement soit extraordinairement riche et qu'il n'existe plus d'autre gisement à la surface dans le monde.

c) Le troisième point de vue de la question de l'exploitabilité des gisements en profondeur est celui auquel je vais me placer dans le présent travail, je veux dire celui de la persistance du gisement en profondeur; en d'autres termes, *le gisement exploitable continue-t-il à exister en profondeur ?*

Plan général du présent travail.

J'examinerai successivement les différentes espèces de gisements en suivant une classification génétique, choisissant surtout les exemples les plus clairs et de façon à exposer en même temps les modes de gisement des principales substances minérales exploitées.

Ensuite, dans chaque catégorie de gisements, je déduirai de la théorie de leur formation la profondeur probable suivant laquelle ils se maintiennent.

J'exposerai notamment les idées des géologues économistes américains Spurr, Lindgren, etc.

Abréviations

Dans le texte, les lettres α , β , γ , etc., renvoient aux publications du même auteur ci-dessous énumérées qui donnent des descriptions plus détaillées des gisements cités comme exemples dans le présent travail.

- α L'exploitation de la couche « Ten yards ». (*Annales des Travaux publics*, t. XLVIII, 1890.)
- β Mémoire sur la préparation mécanique des minerais d'étain dans les Cornouailles. (*Revue universelle des mines*, t. XXI, 1893.)
- γ L'or dans l'Afrique du Sud : Gisement des minerais et procédés de traitement. (*Revue universelle des mines*, t. XXX, 1895.)
- δ Etude technique sur les mines d'or du Witwatersrand (*Annales des Mines de Belgique*, t. II, 1897.)
- ϵ Les gisements des minerais de cuivre. (*Revue Universelle des Mines*, 1900.)
- ζ Les principaux gisements de minerais de fer du monde; les réserves de l'Europe et celles des Etats-Unis d'Amérique. Conférence faite devant S. A. R. Monseigneur le Prince Albert de Belgique. (*Annales des Travaux publics de Belgique*, avril 1902.)
- η Les principaux gisements de pétrole du monde. (*Annales des Travaux publics de Belgique*, octobre 1903.)
- θ L'industrie du pétrole en 1902. (*Annales des Travaux publics de Belgique*, février 1904.)
- ι Les principaux gisements de minerais de mercure du monde. (*Annales des Mines de Belgique*, t. IX, 1904.)

- κ Les principaux gisements de minerais de zinc des Etats-Unis d'Amérique. (*Revue Universelle des Mines*, t. VI, 1904.)
- λ Les principaux gisements de minerais de manganèse du monde. (*Annales des Mines de Belgique*, t. X, 1905.)
- μ Note sur le mode de gisement du pétrole, déduit des circonstances de son exploitation. (*Compte rendu du 2^{me} Congrès international du pétrole*, Liège, 1905.)
- ν Note sur le rendement des couches pétrolifères de Bakou. (*Ibid.*)
- \omicron La Géologie économique: son objet, son utilité; moyens de l'étudier. — Bruxelles, 1906.

Théorie génétique des gisements.

CLASSIFICATION (1).

I. Les émanations (fumerolles) des volcans forment par condensation, près des cratères, des dépôts qui n'ont pas d'importance industrielle.

II. Dans le sein des roches éruptives en train de se refroidir, se produisent des ségrégations magmatiques ou cristallisations ignées.

III. Les roches éruptives incandescentes émettent des fumerolles fluorées et chlorurées qui, par sublimation, donnent lieu :

- a) à des amas métamorphiques de contact,
- b) à des filons.

IV. Les roches éruptives dont le refroidissement est plus avancé émettent des fumerolles qui se condensent et hydrothermalement forment :

- a) des filons,
- b) des imprégnations dans les roches stratifiées,
- c) des imprégnations dans les roches éruptives.

V. Une classe fort importante est celle des gisements dus aux eaux météoriques.

Une partie de ces eaux pénètre dans le sol, et forme :

- a) des gisements secondaires près de la surface ;
- b) plus bas, des concentrations.

L'autre partie, qui ne pénètre pas dans le sol, forme :

- a) des amas superficiels,
- b) ou gagne les rivières (placers),
- c) puis s'écoule dans les lacs et les mers (sédiments).

(1) Classification d'après Weed, modifiée et complétée par l'auteur du présent travail.

VI. Le plissement régional des couches produit les gisements métamorphiques.

ORIGINE DES MÉTAUX.

Les métaux de l'écorce terrestre proviennent du noyau dense, situé au centre de la terre et dénommé la *barysphère*.

En effet, l'astronomie démontre que la densité totale de la terre est 5.5, et que la densité de l'écorce terrestre n'est que 2.5; le noyau a donc une densité supérieure à 5.5, et comprend par suite les métaux, puisque l'analyse spectrale des planètes n'a pas révélé d'autres corps que les métaux ayant cette densité supérieure.

Le noyau central a été assimilé (1) à un bain de métaux fondus, dont les scories ou laitiers, comprenant les silicates, ont formé les roches éruptives.

(1) Elie de Beaumont.

I. — Formations volcaniques.

Ce sont les dépôts de surface formés dans le voisinage du cratère des volcans actuels, par les émanations gazeuses, appelées *fumerolles*, qui se dégagent des laves incandescentes.

La composition des fumerolles varie suivant le degré de refroidissement; elles renferment :

1° Au dessus de 500° C., des chlorures et fluorures (Na, K, Mn, Fe, Cu);

2° De 400 à 300° C., de l'acide sulfureux;

3° Vers 100° C., de l'acide sulfhydrique;

4° Quand le refroidissement est presque complet, de l'acide carbonique (mofettes).

Il est évident que les émanations ont subi une oxydation dans le cratère.

Un autre phénomène que nous devons retenir des éruptions volcaniques est l'énormité des volumes des nuages dégagés qui s'estiment au kilomètre cube, au point qu'il faut (1) considérer qu'aux époques premières de la consolidation de l'écorce terrestre, les eaux océaniques ont été dégagées par les volcans tandis qu'au contraire l'ancienne théorie des volcans attribuait l'origine de leur vapeur à la pénétration des eaux océaniques.

Parmi les gisements d'origine volcanique il faut citer le fer oligiste, les chlorures de plomb et de manganèse,

(1) Suess

l'acide borique, etc.; les *solfatares* sont des cratères fermés d'anciens volcans qui émettent par des fissures de l'acide sulfhydrique, lequel à l'air se décompose en So^2 et S.

Tous ces gisements n'ont aucune importance industrielle.

Mais l'étude des fumerolles volcaniques a permis celle des gisements formés par les *roches éruptives*; ces roches ne sont que les laves des volcans anciens, qui, ou bien sont arrivées à la surface, en crevant l'écorce terrestre, ou bien sont restées dans leur ascension à une certaine distance de cette surface en des endroits où elles ont cristallisé sous pression.

II. — Ségrégations magmatiques.

COMPOSITION DES ROCHES ÉRUPTIVES.

Occupons-nous d'abord des scories de cette métallurgie ignée, c'est-à-dire des roches éruptives.

Leur importance est considérable, parce que presque tous les gisements métallifères se trouvent dans leur voisinage.

La combinaison de 1,500 analyses de roches éruptives a donné la composition moyenne suivante de ces roches, et donc de l'écorce terrestre, puisque toutes les roches quelconques se sont formées aux dépens des roches éruptives :

Oxygène	47.10
Silicium	27.90
Aluminium	8.10
Fer	4.70
Calcium	3.50
Sodium	2.70
Magnésium	2.60
Potassium	2.40
Silicate d'alumine, fer, chaux, magnésie et alcalis	99.00
Titane	0.30
Hydrogène	0.20
Chlore	0.17
Carbone	0.10
Phosphore	0.10
Manganèse	0.07
Soufre	0.06
Baryum	0.03
Fluor	0.03
Azote	0.02

Chrome	0.01
Zirconium	0.01
Nickel	0.005
Strontium	0.005
Lithium	0.005
	<hr/>
	99.93

L'écorce terrestre est donc un silicate d'alumine, fer, chaux, magnésie et alcalis comprenant seulement environ 1 % de matières étrangères (1).

EXPLOITATION DES ROCHES ÉRUPTIVES.

On exploite en carrières à ciel ouvert, le granite, le porphyre (2), le basalte, la pierre ponce, etc.

PHÉNOMÈNES

DURANT LE REFROIDISSEMENT DES ROCHES ÉRUPTIVES.

Inclusions.

Durant le refroidissement, il s'est produit des grenailles de minerais ou inclusions, telles qu'il s'en forme dans les scories ou laitiers des fourneaux de cuivre; mais ces roches éruptives, mouchetées de minerais, ne sont jamais exploitables; ainsi les péridotites de l'Oural contiennent des grains de platine, mais à une teneur qui n'est pas rémunératrice; il en est de même de la granulite des Indes, qui est la roche-mère des rubis et des saphirs (alumine cristallisée dont la variété impure est le corindon ou émeri).

Ségrégations.

Mais outre les inclusions, il s'est produit parfois une concentration semblable sous forme d'*amas*, dits de ségrégation magmatique, qui sont exploitables.

(1) CLARKE.

(2) En Belgique, les carrières dans le porphyre de Quenast, Bierghes et Lessines fournissent des pavés et du macadam.

La cause de cette concentration est encore obscure ; elle a été attribuée à des phénomènes de diffusion et de cristallisation, à une liquation par l'action de la vapeur d'eau, etc. Ce qui est certain, c'est que dans une masse en fusion, les éléments semblables tendent à se réunir pour cristalliser ensemble.

Exemples :

1. *Dykes de pegmatite du Canada.* — Dans un granite, généralement constitué par du quartz, du mica et du feldspath (orthose), si le refroidissement s'est produit lentement, on trouve de gros cristaux de mica, de gros cristaux d'orthose (silicate d'Al et de K) et des filons de quartz, c'est-à-dire qu'il y a eu ségrégation des divers éléments minéralogiques ; tels sont les filons de pegmatite dans le gneiss laurentien du Canada, exploités pour mica blanc (muscovite) (1), feldspath et quartz vitreux ; ce sont des dykes ou apophyses émanant d'un massif de granite ; leur puissance varie de quelques centimètres à 75 mètres ; leur longueur exploitée, de 15 à 36 mètres. Ils renferment, parmi les minerais accessoires, la pitchblende, qui est le minerai de l'uranium et du radium.

2. *Filons de quartz aurifère du Yukon (Alaska)* (2). — Ces filons sont formés par la différenciation de la silice, qui a entraîné dans son départ l'or du granite (3).

3. *Gisement de corindon (alumine cristallisée, émeri),* dans la syénite du Canada (4).

Les cristaux, de la grosseur du poing, sont enrobés dans une pâte syénitique (5).

(1) Le mica s'emploie comme isolant dans les appareils électriques, comme transparent dans les poêles d'appartement et les verres de lampes ; les cristaux, qui ont la forme en colonne, pour être exploitables, doivent avoir une base d'au moins $0^m10 \times 0^m17$, donnant des feuilles de cette dimension ; leur hauteur varie de 0^m90 à 1^m20 . — Le feldspath sert de fondant dans la pâte à porcelaine et est utilisé à l'émaillage.

(2) SPURR.

(3) Ces gisements ne peuvent pas être dénommés filons (Chester Wells Purington). Je propose de les appeler filons magnétiques. L. D.

(4) PRATT.

(5) L'émeri sert à la fabrication des meules à polir les métaux.

4. *Veinules d'asbeste (amiante)* (1), silicate dans la serpentine du Canada.

5. *Gisements de magnétite titanifère.* — Les roches éruptives présentent souvent des exemples de transitions insensibles, ainsi que le prouvent des analyses en grand nombre qui peuvent se représenter par des diagrammes (2).

Nous donnons ci-après (fig. 1), un de ces diagrammes

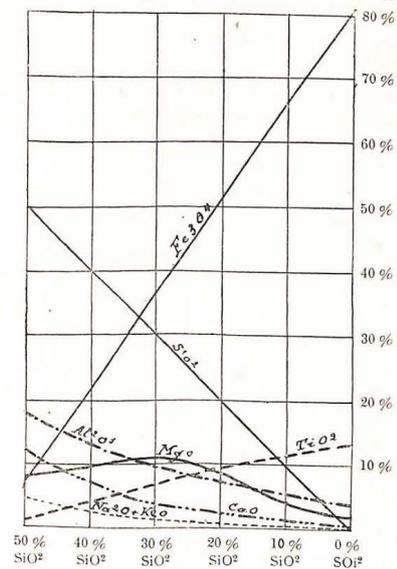


FIG. 1. — Schéma d'une différenciation (Vogt). — Transition d'un gabbro à un minerai de fer titanifère.

(1) L'amiante est employé au garnissage des pistons des machines à vapeur à haute tension, à la couverture des tuyaux à vapeur, au filtrage des acides, etc.

(2) Vogt.

qui rend compte du passage graduel d'un gabbro (agrégat granitoïde de plagioclase, labrador et diallage) à une magnétite titanifère, par diminution des silicates d'alumine, etc., et augmentation des oxydes ferrique et titanique. On peut admettre que ces liquations se sont passées sous pression au sein d'une solution ignée, constituée par les silicates d'alumine, etc., qui ont joué le rôle des eaux-mères dans les cristallisations aqueuses (1).

6. *Gisements de fer chromé* (chromate de fer), dans la serpentine de l'Oural (2).

7. *Gisement de magnétite dans le porphyre de Blagodat* (Oural) (fig. 2). — Minéral : magnétite à 52-58 % Fe.

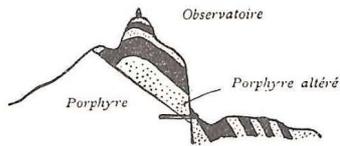


Fig. 2. — Coupe du gisement de Blagodat.

8. *Gisement de pyrrhotine nickelifère de Menhjar* (Norvège). — La pyrrhotine nickelifère existe à l'état disséminé, à l'état d'inclusions dans le massif de norite; les masses de minéral à 2-10 % Ni (3) sont concentrées au plan de contact de la norite et du gneiss cristallin, comme l'indique la coupe agrandie (fig. 3).

9. *Gisement de pyrrhotine nickelifère de Sudbury* (Ontario, Canada). — Amas de pyrrhotine nickelifère et

(1) Ces magnétites titanifères [Fe²O³TiO₂ et ilménite (FeO, TiO₂)] n'ont pas encore pu être employées dans l'industrie du fer parce qu'elles sont hautement réfractaires et qu'elles entraînent beaucoup de fer dans les scories. — On obtient à présent le ferro-titane au four électrique.
 (2) Le ferro-chrome sert à la fabrication d'un acier spécial; les chromates, à la fabrication de matières colorantes.
 (3) Le nickel sert à la fabrication des monnaies, au « nickelage », à la fabrication du maillechort et de divers alliages, à la fabrication d'un acier spécial, etc.

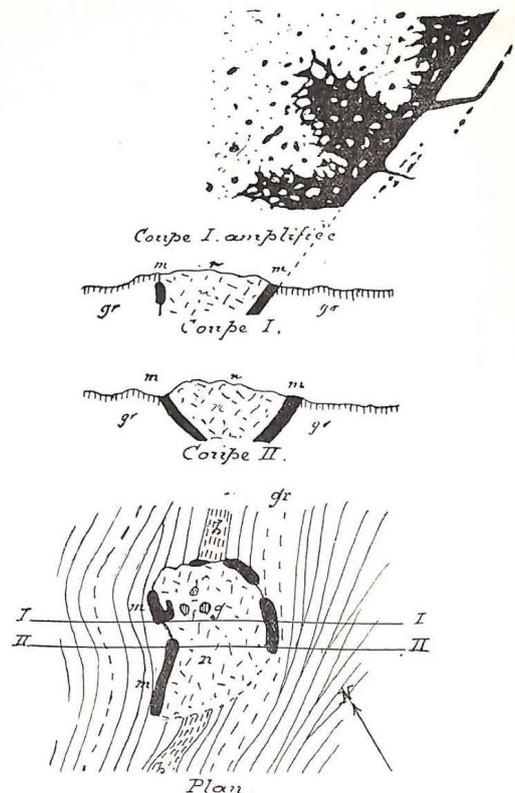


Fig. 3.

Gisement de pyrrhotine nickelifère de Menhjar (Norvège) (Vogt).
 g, gneiss gris; gr, gneiss rouge; h, schiste à hornblende; n, norite;
 p, pyrrhotine nickelifère

de chalcopryrite, au contact des schistes huroniens et de la diorite et dans la diorite.

Le minerai tient 4 % Ni et 2 % Cu.

10. *Gisement de molybdénite (MoS₂) du Maine* (États-Unis d'Amérique). — Des dykes de pegmatite renfermant des masses de molybdénite (1) sont compris dans un granite imprégné de divers sulfures.

11. *Gisement de diamants du Cap* (fig. 4). — Les diamants, qui ne sont que du carbone cristallisé, s'exploitent

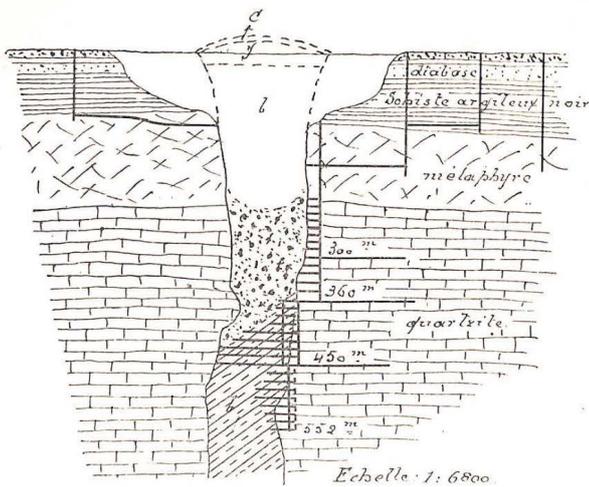


Fig. 4. — Coupe verticale de la mine Kimberley.

LÉGENDE : Les parties pointillées ont été enlevées par l'exploitation.

- y. Yellow ground (affleurement oxydé).
- c. Calcaire tuffacé
- b. Blue ground.

(1) Le ferro-molybdène est employé à la fabrication d'un acier spécial.

dans un tuf volcanique (*yellow and blue grounds*) remplissant une cheminée d'explosion de gaz et de vapeur de 200 à 300 mètres de diamètre.

Ce tuf ou brèche est analogue à une boue volcanique et contient du grisou et des hydrocarbures.

INFLUENCE DE LA PROFONDEUR SUR LA RICHESSE. — La pression est favorable à la précipitation ignée, c'est-à-dire à la ségrégation magmatique, de sorte que les gisements de ce mode de formation ont chance de s'enrichir en profondeur.

III. Gisements pneumatolytiques ou de sublimation.

ROCHES ÉRUPTIVES.

Dans la période de refroidissement des roches éruptives sous la couverture des roches stratifiées, donc dans un milieu réducteur, les fumerolles dégagées sont constituées successivement par :

- 1° Des fluorures et des chlorures ;
- 2° Des sulfures ;
- 3° Des carbures.

Ces minéralisateurs accompagnent des quantités énormes de vapeurs d'eau que nous avons signalées dans les dégagements volcaniques, et aussi de la silice en solution alcaline.

SUBLIMATION.

Dans la profondeur, là où la pression dépasse 200 atmosphères et la température 365° C., donc celle de la température critique, la vapeur est à l'état de gaz parfait et les fluorures, chlorures et sulfures qui l'accompagnent vont se condenser par sublimation, soit dans les terrains stratifiés de contact (A), soit dans les fractures (B).

A. — Amas métamorphiques de contact ou amas de sublimation ou amas de départ immédiat.

Au contact des roches éruptives incandescentes, les roches stratifiées, soulevées par l'intrusion du massif éruptif, se sont métamorphosées, c'est-à-dire que les argiles et schistes ont été calcinés ou cuits, et que les calcaires ont été transformés en marbre; ces terrains ainsi altérés ont servi de condenseurs aux vapeurs minéralisantes en même temps qu'il s'y est formé les minéraux caractéris-

tiques du métamorphisme, grenat, épidote, etc., par l'apport de la silice.

Cette pénétration de vapeurs s'est faite parfois jusqu'à 5-6 kilomètres du contact de roches éruptives et des terrains stratifiés.

Les gisements se sont formés par simple imprégnation, par remplissage de cavité, ou par remplacement moléculaire dit remplacement métasomatique; la détermination de l'un ou l'autre de ces trois modes de formation, dont des exemples se retrouvent parfois dans un même gisement, ne peut souvent être faite que par l'examen microscopique de plaques minces.

Exemples :

1. *Gisements du Banat* (Hongrie). — Amas de contact entre la syénite (banatite) et le calcaire jurassique (fig. 5).

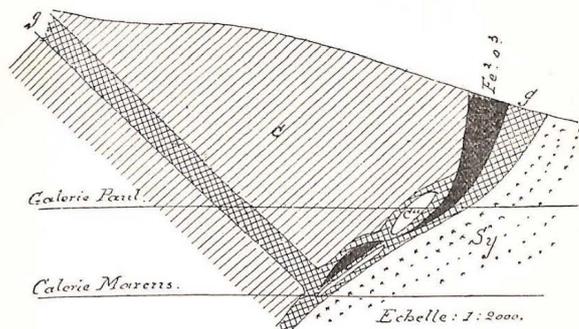


FIG. 5. — Coupe de la mine Pierre et Paul du Banat (Hongrie).

LÉGENDE :	Sy,	Syénite dénommée banatite.	DE LAUNAY.
	g,	Gangue; brèche à éléments calcaires chargée de quartz et de feldspath, et cimentée par du grenat.	
	Fe ² O ₃ ,	Hématite en lentilles (gisements formés par les eaux magmatiques, voir p. 581.)	
	Cu,	Sulfures de cuivre en amas (gisement de sublimation).	
	c,	Calcaire jurassique métamorphisé en marbre,	

2. *Gisement de Rio Tinto* (fig. 6). — Au contact du granite et des schistes carbonifères.

L'amas du sud a 120-140 mètres de puissance et 550 mètres de longueur, et est exploité jusque 130 mètres de profondeur; c'est une masse confuse de pyrite sans stratification.

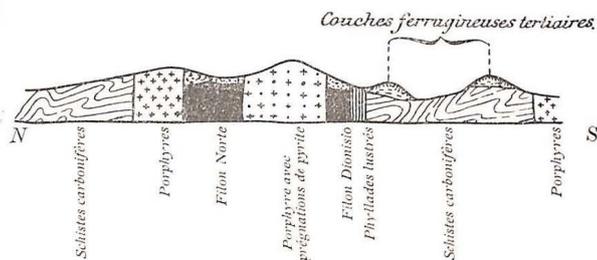


FIG. 6. — Amas de Rio Tinto. DE LAUNAY.

L'amas du nord a une puissance de 150 mètres et est en exploitation sur 2 kilomètres de longueur.

MINÉRAI : Pyrite de fer cuivreux à 2.7 % Cu.

INFLUENCE DE LA PROFONDEUR SUR LA RICHESSE(1). — Pour la formation des gisements, il a fallu, ainsi que nous l'avons dit, la pression des gaz, c'est-à-dire la profondeur approximative minima de 300 mètres, c'est donc à cette profondeur, par rapport à la surface contemporaine de la formation, que le gisement peut commencer à exister; plus bas, la puissance passe par un maximum pour décroître ensuite; cette loi de variation de puissance a souvent été constatée.

(1) Lindgren.

Il faut conclure d'abord que les gisements qui affleurent actuellement ont dû être amenés à devenir superficiels par l'érosion des roches de la surface primitive puisque de l'importance de cette érosion résulte l'élargissement ou le rétrécissement que rencontrera l'exploitation du gisement à partir de la surface actuelle du sol (fig. 7).

En effet, si l'érosion n'a enlevé que le quart supérieur du gisement, la puissance ira en augmentant à partir de la surface actuelle *bb*, tandis que si l'érosion a enlevé les

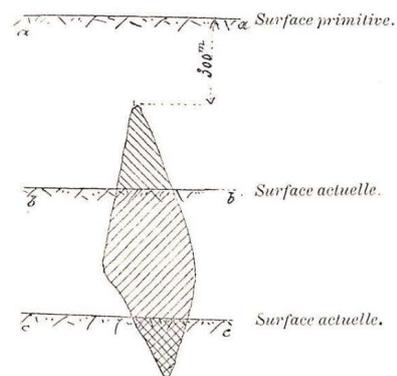


FIG. 7. — Coupe verticale d'un amas.

trois-quarts du gisement, la puissance ira en diminuant à partir de la surface actuelle *cc*.

De sorte que le calcul de la puissance de l'érosion peut permettre de présumer l'élargissement ou le rétrécissement du gisement dans la profondeur.

L'allure de ces gisements est capricieuse; ils sont sujets à disparaître à tout moment de l'approfondissement de la

mine; leur poursuite, c'est-à-dire leur recherche au delà d'un dérangement est toujours fort difficile.

Leur disparition s'explique par un changement, parfois à peine perceptible, dans la nature de la roche primitive qui, métamorphisée, a servi de condenseur.

La profondeur d'exploitation de ces gisements est donc relativement faible.

B — Filons pneumatolytiques ou de sublimation.

Le soulèvement des roches sédimentaires par l'intrusion des roches éruptives, y a produit des fractures.

Les fumerolles dégagées par les roches éruptives incandescentes en contact au lieu de se condenser au contact des roches stratifiées, ont parfois pénétré dans les fractures, où elles se sont condensées en formant des filons; les premières fumerolles dégagées sous une pression de 200 atmosphères, et au-dessus de la température de 365° C. qui est la température critique de la vapeur, contiennent les chlorures et les fluorures, et ont formé les filons de sublimation.

La caractéristique de ce genre de filons est l'imprégnation des parois ou épontes par les minéraux de sublimation, comme la tourmaline.

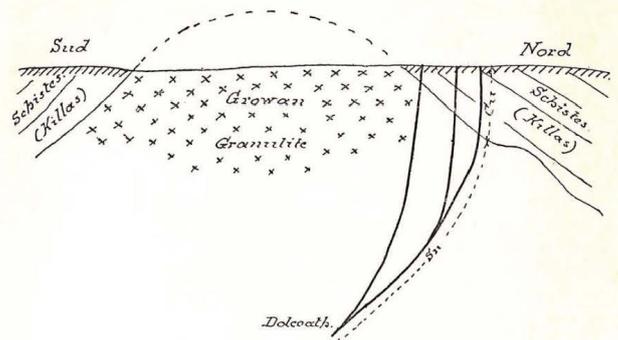
Exemples :

1. Filons de cassitérite des Cornouailles et du Deron.

GISEMENTS (fig. 8 et 9). — Sur six pointements de granulite (growan, *g*) à tourmaline, repose un manteau de schistes micacés cambriens (killas, *sh*); la granulite et les schistes sont recoupés par des dykes (elvans, *e*) de granulite à grains fins et de porphyre.

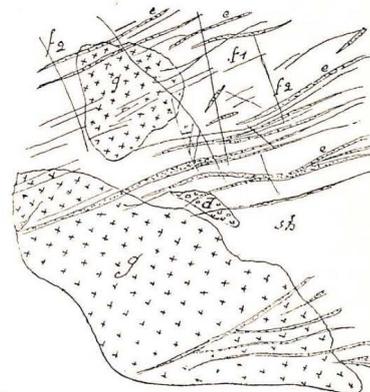
Deux systèmes orthogonaux de filons f_1 et f_2 (étoilements aux elvans, recoupent la granulite et les schistes.

La puissance moyenne de ces filons est d'environ 1 mètre; mais elle s'élève jusque 12 mètres.



Profondeur suivant filon : 882 mètres
Profondeur verticale : 646 mètres.

FIG. 8. — Coupe verticale à travers les filons de cassitérite des Cornouailles.



LÉGENDE :
sh, Schiste.
g, Granulite.
d, Diorite.
e, Dykes ou elvans.
 f_1 , Filons.
 f_2 , Id.

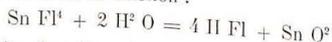
FIG. 9. — Coupe horizontale à travers un pointement de granulite des Cornouailles.

A. GEIKIE.

MINÉRAIS. — *Grosso modo*, dans la partie supérieure, donc dans les schistes (fig. 8), minerais de cuivre avec gangue de quartz; dans la partie inférieure donc, le granite, cassitérite avec gangue de feldspath, mica, chlorite et tourmaline.

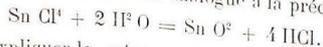
MINÉRAIS ACCESSOIRES. — Wolfram (1), galène, mispickel, etc.

MODE DE FORMATION. — Après la consolidation du granite, des dykes de roches éruptives (*e*) ont été injectés à travers des cassures qui se sont étendues dans les schistes (*sh*); ou bien ces dykes ne sont que des différenciations magmatiques du granite (2); plus tard, des fumerolles de fluorure d'étain se sont dégagées par les cassures de granite et par suite de la réaction :



la cassitérite s'est déposée soit dans les dykes (*e*), soit dans des cassures $f_1 f_1$ et $f_2 f_2$, dans les schistes (*sh*) qui, pourrait-on dire, les ont condensées dans les plis du manteau dont ils recouvraient le pointement de granite.

Une expérience facile (3), qui donne l'image de ce mode de formation des filons, consiste à faire passer dans un tube de porcelaine chauffé au rouge blanc, des vapeurs de chlorure d'étain et d'eau; on obtient des cristaux de cassitérite et de l'HCl en vertu d'une réaction analogue à la précédente.



Pour expliquer la présence des différents minerais, on admet des venues successives séparées par des recouvrements des filons.

INFLUENCE DE LA PROFONDEUR SUR LA RICHESSE. — Le mode de formation de ces gisements, schématisé par la

(1) Le wolfram (tungstate de Fe et de Mn) sert à la fabrication de l'acier au tungstène.

(2) J.-B. HILL.

(3) A. DUBRÉE.

réaction chimique ci-dessus, permet de présumer que la cassitérite s'est déposée à toute profondeur accessible.

Les filons des Cornouailles, dans la zone inaltérée, présentent une constance remarquable dans la richesse, qui est environ 1 % Sn dans le minerai brut (1).

La mine Dolcoath exploite, à la profondeur de 882 mètres suivant la pente du filon, ou à la profondeur verticale de 646 mètres, du pareil minerai sur une puissance d'environ 12 mètres.

Son exploitation a donné, depuis cent cinquante ans, une rémunération constante et régulière aux capitaux engagés, en produisant pour 150,000,000 francs de minerai (cuivre et étain).

2. *Filon de cryolite* (fluorure double d'Al et de Na).

GISEMENT dans le gneiss.

MINÉRAIS. — Cryolite (2).

MINÉRAIS ACCESSOIRES. — Cassitérite, wolfram, fluorine, pyrite, galène, sidérose.

3. *Filon de fluorine* dans l'Illinois (CaF₂) (3).

4. *Filon de graphite* dans la granulite de Ceylan (4).

(1) Ce minerai brut, à 1 % Sn, est enrichi par préparation mécanique, par voie humide, jusque 65 % Sn (black tin). — 3.

(2) Minerai d'aluminium.

(3) La fluorine est un fondant très énergique employé pour la fabrication de l'acier sur sole basique.

(4) Weinschenk.

IV. — Gisements formés par les eaux magmatiques.

Les fumerolles, émanations gazeuses et métallifères dégagées par le bain central, et aussi par les roches éruptives pendant leur refroidissement, remontent vers la surface, et atteignant la thermosphère (1), tombent à une température inférieure à 365° C., puis se condensent en eaux minéralisantes; et ces eaux thermales, contenant les éléments métalliques, continuent à monter sous l'action de la pression, et circulent à travers les fractures et les pores des roches.

Ces eaux ascendantes concernent des volumes énormes; leur action, quoique lente, est donc considérable avec le temps; elle est favorisée par la chaleur et la pression.

Ces eaux charrient des quantités considérables de silice que nous avons vu se déposer dans les gisements métamorphiques de contact, et qui vont former les gangues des filons.

Ces eaux ascendantes sont pour la plus grande partie données par des sources juvéniles (2), c'est-à-dire qu'elles arrivent au jour pour la première fois. Il peut s'y mélanger, en petite quantité des eaux météoriques descendantes.

Pour d'autres géologues, les eaux météoriques descendantes jouent le principal rôle (3).

ROLE DE L'OSMOSE. — En ce qui concerne la précipitation des substances minérales de leurs solutions, l'influence

(1) EMMONS.

(2) SUSS.

(3) VAN HISE, voir p. 605.

de l'osmose a été invoquée (1). Quand un sel entre en solution, il se diffuse dans la solution par la vertu de la force osmotique qui pousse le sel vers le cristal ayant pris naissance, pour le nourrir.

De la sorte, les minerais se forment non par des courants de transport ou de convection, mais par le passage osmotique à travers les solutions au repos.

Cette théorie semble admettre, après une première venue d'une solution dans les cavités, l'apport de substances minérales par effet d'osmose, sans circulation de liquide; la quantité d'eau intervenant dans un pareil processus doit être par suite considérée comme très faible.

GANGUES. — On appelle ainsi les substances relativement stériles qui accompagnent les minerais; les unes: silice, barytine, fluorine, doivent être attribuées aux minéralisateurs; les autres, telles que le calcite, ont été enlevées aux terrains traversés par les eaux de circulation.

A. — FILONS.

Nous comprendrons, sous le nom de gisements filoniens, les gisements de diverses formes remplissant des vides dus à des dislocations de l'écorce terrestre.

a) Filons proprement dits.

Les fractures ou failles de l'écorce terrestre mettent en communication les régions superficielles avec le laboratoire souterrain; elles sont des chenaux de circulation pour les eaux minéralisantes; aussi beaucoup de ces fractures ont elles été minéralisées, tout comme les tuyaux d'une distribution d'eau s'encroûtent de dépôts calcaires (2).

C'est par les fractures également qu'arrivent à la surface, les eaux thermales des sources minérales actuelles qui sont

(1) H. POWERS-GILETTE.

(2) STANISLAS MEUNIER.

donc en train de tapisser de minerais les fractures où elles circulent, et de les transformer en filons (1) (2).

On conçoit que la richesse d'un filon ne dépend pas de la grandeur de l'ouverture de la fracture; car les fissures minces sont plus propres à retenir les solutions minéralisantes que les grandes fractures.

Comme sur les deux lèvres de la cassure existent des zones fissurées, les recherches doivent s'étendre à une certaine distance de la fracture principale, dans les terrains stratifiés qui ont été imprégnés.

Les grandes fractures de l'écorce terrestre ont souvent comme parallèles les joints de clivage des roches stratifiées, et l'étude de ces clivages peut faciliter la recherche des filons.

Exemples :

1. *Filons de Rico* (Colorado) (fig. 10, 11 et 12).

GISEMENTS. — Les solutions minéralisantes sont montées par une série de fissures transformées en filons (fig. 10), et ont été arrêtées à une couche schisteuse imperméable, — blanket ou couverture, *b*, — sous laquelle des amas, sorte de têtes pour les filons, ont été formés, par l'action précipitante des matières charbonneuses des schistes.

MINERAIS. — Galène, blende, pyrite de fer et de cuivre, argentite et stéphanite.

Argent et or natifs.

GANGUES : dialogite et quartz.

(1) ELIE DE BEAUMONT.

(2) Comme exemple des eaux magmatiques en Belgique, nous pouvons citer celles qui ont été atteintes à la profondeur de 250 mètres dans des tunnels inclinés en creusement dans le houiller inférieur (H1b), au charbonnage de Baudour (Hainaut). Ces eaux ont une température de 45°. (Voir *Annales des Mines de Belgique*, 1906, 3me liv., p. 644). Une source d'eau chaude a été renseignée autrefois à Sirault, tout près et au Nord de Baudour.

J'en conclus que ces eaux thermales proviennent du massif porphyrique qui constitue l'arête dorsale Est-Ouest du soulèvement de la Belgique (Lessines, Quenast, etc.) Ce massif serait alors relié au houiller par quelque grande cassure, ou un réseau de cassures traversant le silurien, le dévonien et le calcaire carbonifère. Dès lors, il serait permis d'espérer la découverte un jour de filons métallifères dans la région entre Baudour et Lessines, d'autant plus qu'à Sirault même on a autrefois tenté l'exploitation d'un filon de galène avec gangue de calcite dans le calcaire carbonifère. La même possibilité existe à l'égard du versant nord de la masse de porphyre, qui au surplus, à son contact avec les terrains stratifiés, peut par endroits contenir des amas métamorphiques (p. 558).

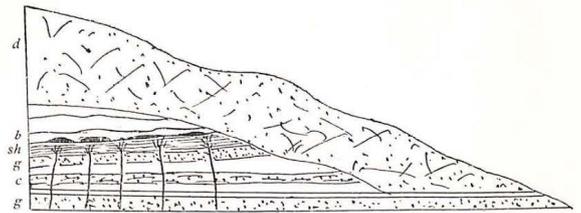


FIG. 10. — Coupe verticale de la mine Entreprise (Colorado). RANSOME.
d recouvrement récent.

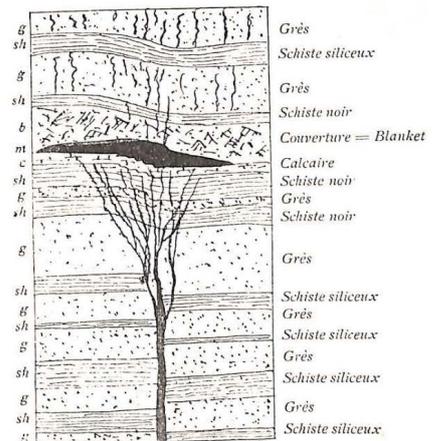
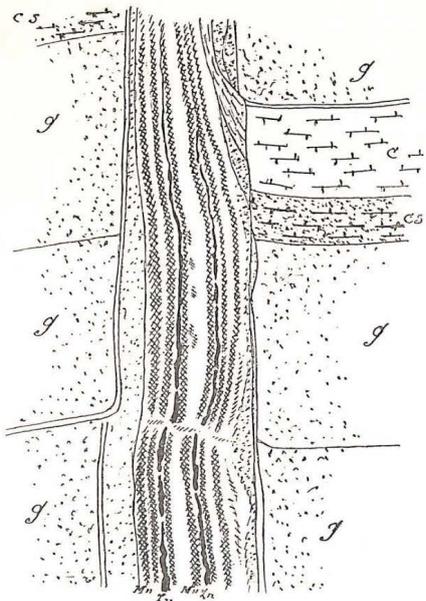


FIG. 11. — Coupe schématique agrandie par un filon et un amas.
Echelle 1/160. RANSOME.



LÉGENDE :

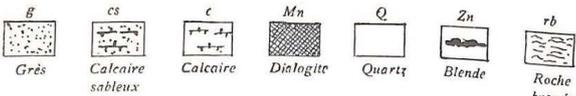


FIG. 12. — Coupe agrandie du filon Eureka à Rico (Colorado).

A. RICKARD.

2. Filons de Przibram (Autriche) (fig. 13, 14 et 15.)
 GISEMENT. — Filons dans une grauwaque quartzifère cambrienne (fig. 13), reposant sur des schistes argileux

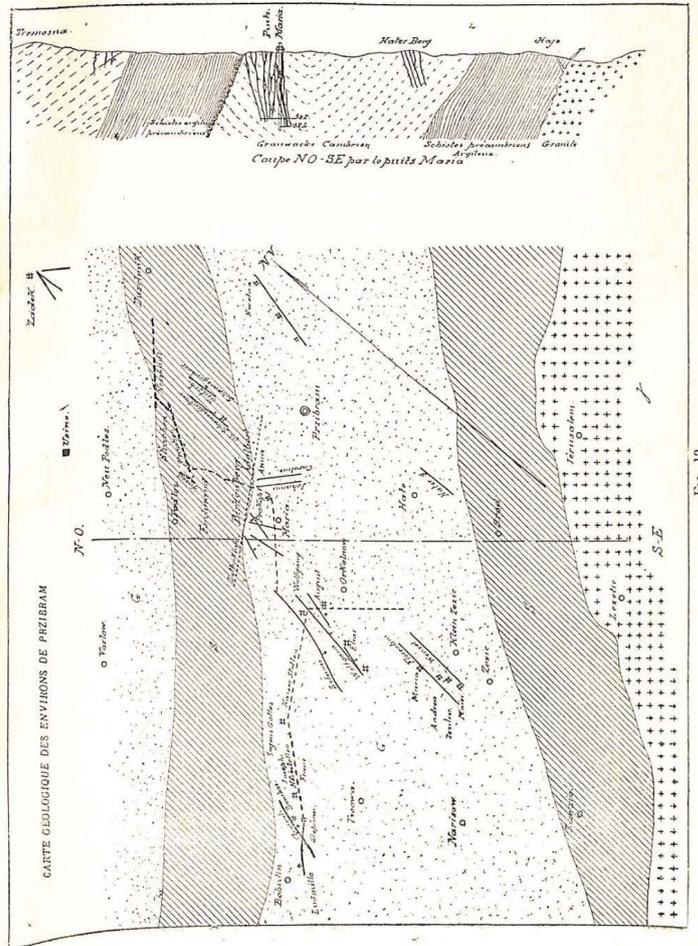


FIG. 13.

galène barytique, est minéralisé de galène et blende quartzéuses aux intersections avec un autre faisceau.

L'enrichissement des filons aux intersections est d'autant plus grand que l'angle de l'intersection est plus petit, c'est-à-dire que la surface de contact a été plus grande (1).

INFLUENCE DE LA PROFONDEUR SUR LA RICHESSE. — Nous ferons en ce moment abstraction de l'enrichissement secondaire que présentent les filons près de la surface, par suite de l'action des eaux météoriques (2).

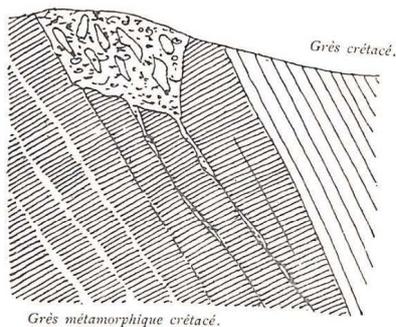


Fig. 17. — Amas d'affleurement. — Mine de mercure de Redington (Californie). Coupe verticale transversale (1).

Les solutions minéralisantes chaudes qui ont formé les filons ont déposé les minerais plutôt vers les affleurements ou les griffons des sources : 1° parce que la diminution de la température et de la pression vers la surface a favorisé le dépôt; 2° parce que près de la surface, les eaux météoriques circulant dans les terrains encaissants, riches par exemple en sulfate ferreux, rencontrant normalement le plan du filon, ont par leur réaction avec les eaux ascen-

(1) SERRA.

(2) Voir p. 503.

dantes dans le filon, déterminé la formation de colonnes riches (*bonanzas*); 3° parce que près de la surface, il s'est produit un craquelage des roches (*cap chambers*) et une dispersion des cassures en éventail (fig. 17 et 18).

La formation de ces *cap chambers* s'explique lors du glissement des parois du filon l'une sur l'autre; à l'affleurement, la roche du toit n'a pas eu pour la maintenir en place, le poids des roches qui pressent sur elle en profondeur.

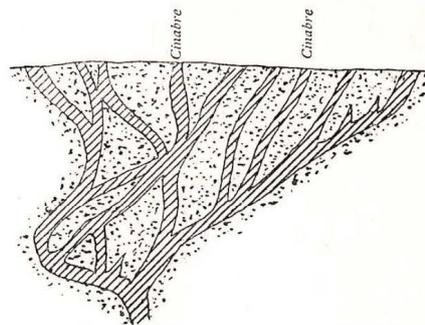


Fig. 18. — Amas de cinabre de Siete, Mont Amiata (Toscane). Coupe verticale transversale (1).

Ces exemples rendent compte des désillusions qui atteignent les actionnaires de ces exploitations, lorsque la mine s'enfonce sous les amas.

Nous avons dit qu'aux griffons se trouvaient les richesses les plus grandes; un peu plus bas la diminution de richesse est forte, mais plus bas encore, la diminution n'est plus que lente; c'est la conséquence de la faible diminution de pression subie par les solutions ascendantes jusqu'à la surface même ou la diminution a été brusque.

La recherche du point de plus grande richesse revient donc à déterminer le griffon de la source thermique (1) qui a formé le filon, c'est-à-dire l'affleurement du filon lors de l'épanchement de la source à la surface; car il faut noter que, comme nous l'avons dit pour les amas, l'érosion a pu enlever à la surface des masses de roches qui vont dans certains cas jusque 1,000 mètres de puissance.

Un élément qui permet de préjuger de la profondeur à laquelle s'étend la cassure est sa dimension en direction à l'affleurement (2).

Il y a en effet une relation d'équivalence entre la dimension horizontale d'une cassure, et sa profondeur, parce que les efforts de rupture se sont exercés également dans les deux sens vertical et horizontal et y ont produit des effets égaux; il est évident qu'ici encore la notion de l'érosion intervient.

b) Filons-couches.

Ce sont les filons formés par l'ouverture d'un joint de stratification.

Exemple :

Passagem (Minas Geraes, Brésil) (fig. 19).

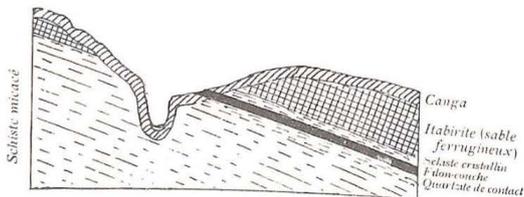


FIG. 19. — Coupe verticale par le filon-couche de *Passagem* (Minas Geraes, Brésil). — P. FERRAND.

MINÉRAL. — Quartz aurifère avec mispickel et tourmaline et grenat.

(1) W. LINDGREN.
(2) SPERR.

Variété: Filons de selles et filons de bassins.

Les gisements dans les plis forment une catégorie spéciale de filons-couches.

Lorsqu'une série de couches est plissée en selles et bassins, dans les joints de stratification, aux plis mêmes, il se forme des vides; et la région ainsi fracturée est aisément traversée par les solutions des minéralisateurs.

Si la formation comprend une série alternante de couches imperméables, les eaux descendantes forment des dépôts dans les bassins, et les eaux ascendantes dans les selles, c'est-à-dire, là où les solutions sont retardées dans leur marche par suite de l'élargissement du vide, dans la circulation à travers la cassure qui relie tous les bassins ou toutes les selles.

L'existence simultanée de dépôts dans les bassins et dans les selles prouve la double circulation pour les eaux; mais comme dans les selles formant voûtes, les plis sont plus ouverts parce que la pesanteur tend à refermer les plis dans les bassins, c'est dans les selles que les dépôts ont le plus d'importance.

Exemple :

Gisement de quartz aurifère de Bendigo (Australie) (fig. 20 et 21).

INFLUENCE DE LA PROFONDEUR SUR LA RICHESSE. — Jusque vers la profondeur de 900 mètres, le minerai a rendu 50 francs la tonne (1); plus bas la richesse a subi une diminution lente, et à 1,250 mètres, la teneur est tombée à 35 francs la tonne; cette teneur s'est maintenue jusqu'à la profondeur de 1,400 mètres, niveau actuel des travaux de recherches.

Comme on peut estimer à 900 mètres la hauteur de

(1) Prix de revient : 35 francs par tonne.

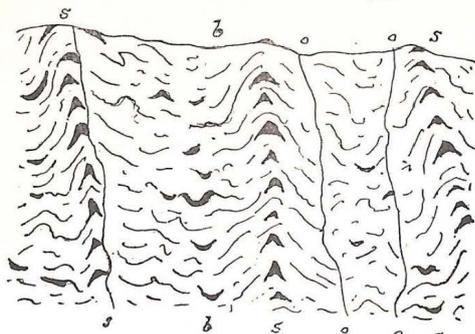


Fig. 20. — Coupe verticale schématique en travers du champ d'or de Bendigo (Australie).

s. Filons dans les selles. b. Filons dans les bassins.
o. Filons ordinaires.

SCHMEISSER.

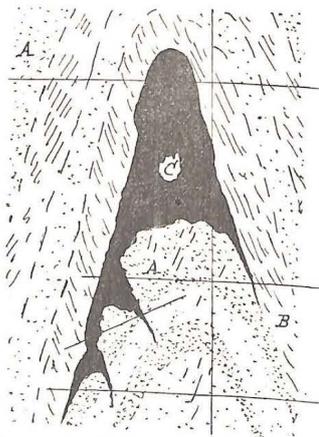


Fig. 21. — Coupe en travers d'un filon dans les selles de Bendigo (s).

A. Grès siliceux. B. Grès schisteux siliceux avec rubans de quartz. C. Filon de quartz avec or et sulfures.

A. RICHARD.

l'affleurement enlevé par l'érosion, la formation aurifère est déjà démontrée sur une profondeur de 2,300 mètres.

Il n'est pas nécessaire que les plis soient accentués comme à Bendigo pour contenir des gisements; on en rencontre dans des inflexions très faibles de la pente.

Cette catégorie de gisements métallifères dans les selles fait songer aux gisements de pétrole, que nous décrivons et qui se rencontrent sous les anticlinaux des couches imperméables.

B. — GISEMENTS HYDROTHERMAUX DANS LES ROCHES STRATIFORMES.

Les sources thermales alimentées par le mélange des eaux juvéniles ascendantes ayant condensé les fumerolles métallifères et les eaux météoriques, ont formé, outre les dépôts filoniens, des dépôts dans les couches stratifiées.

Il importe, au point de vue des recherches, de connaître les roches où les conditions d'un pareil dépôt ont été les plus favorables.

Les grès, à cause de leur porosité, sont souvent imprégnés de minerais; les schistes, surtout ceux contenant des matières organiques, ont fixé aussi les minerais à leur contact; comme leur masse est souvent plastique et imperméable, ils ont arrêté au-dessous d'eux les solutions ascendantes, et au-dessus d'eux les solutions descendantes. Nous avons signalé déjà la formation de tels amas à propos des filons de Rico (fig. 20 et 21, p. 580).

Exemples :

1. Gisement de Schwarzenberg (Saxe) (fig. 22).

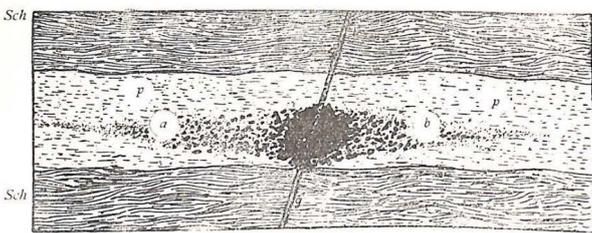


FIG. 22. — R. BECK.

LÉGENDE : Sch, Micaschistes gneissiques formant manteau.
 p, Roche à pyroxène et actinote, avec couches de magnétite à la partie inférieure.
 ab, Imprégnation de mispickel, blende et d'un peu de chalcopysrite.
 g, Faille ou filon.

2. Couches de grès et conglomérats avec cuivre natif (fig. 23) (c).

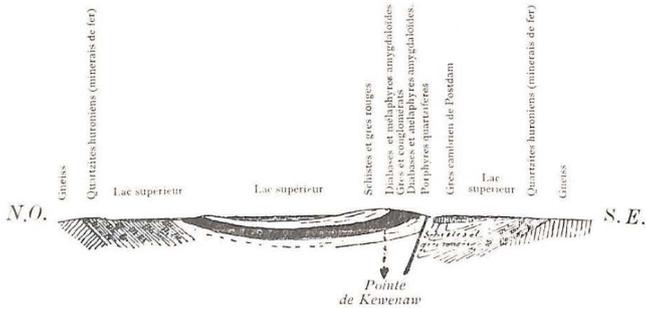


FIG. 23.

GISEMENT. — Sous le lac supérieur, il y a une alternance de couches ou coulées de diabase et de grès et conglomérats

à éléments de mélapyres (porphyres) traversés par des filons de fracture.

Ces couches et ces filons renferment le cuivre natif.

MINÉRAI. — 0.6 % Cu.

MODE DE FORMATION. — Le cuivre natif a été précipité de solutions ascendantes, par les actions réductrices de l'oxyde ferreux des silicates et, par métasomatisme, de grandes quantités de roches ont été remplacées par du cuivre natif.

INFLUENCE DE LA PROFONDEUR SUR LA RICHESSE. — La mine Calumet and Hecla exploite à 1,500 mètres de profondeur ; le minerai y a une teneur de 0 à 4 1/4 %, soit 1.43 en moyenne.

3. Couches de conglomérat aurifère du Rand (Transvaal) (γ et δ).

GISEMENT. — Couches (reefs) de conglomérat aurifère (banket) dans des grès siliceux.

MINÉRAI. — Les galets qui ont été roulés par les eaux sont empâtés dans un ciment siliceux ; l'or est localisé dans le ciment au contact des galets ; la pyrite imprègne le ciment.

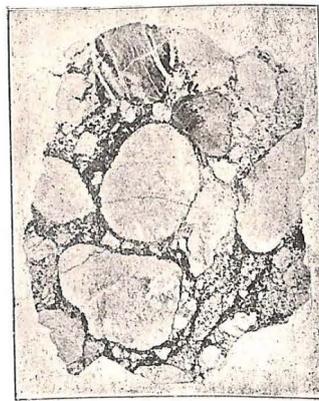


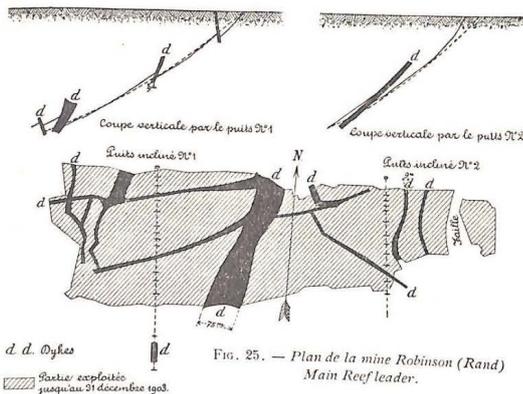
FIG. 24. — R. BECK.

La fig. 24 représente la photographie d'une plaque mince de minerai, où la pyrite aurifère est teintée en noir. La teneur moyenne du minerai broyé est de 14 grammes par tonne.

MODE DE FORMATION (fig. 25). — Dans des couches poreuses de galets de quartz pyritifère, les solutions chlorurées d'or, amenées par les dykes de diabase, ont laissé précipiter leur métal par la pyrite.

Preuves (1) :

1. L'or est dans le ciment et jamais dans les galets;
2. Il accompagne les cristaux de pyrite qui sont de formation secondaire, comme le montre l'examen microscopique;
3. Sa répartition est uniforme;
4. Son existence est limitée à certaines couches de conglomérats.



INFLUENCE DE LA PROFONDEUR SUR LA RICHESSE. — Les couches ont été suivies par les travaux d'exploitation jusque plus de 600 mètres suivant la pente, et des sondages les ont recoupées aurifères à 1,500 mètres.

La diminution de richesse ne paraît être que très faible avec la profondeur.

(1) HATCH et CORSTORPINE.

C. — AMAS D'IMPRÉGNATION DANS LES ROCHES ÉRUPTIVES.

Amas de cinabre de Vallalta (Italie) (fig. 26) (2).

GISEMENT. — Amas de cinabre en mouches dans le porphyre, en veinules dans les schistes, et pour la plus grande partie en imprégnation dans un grès porphyrique (conglomérat).

MINÉRAL. — Cinabre à 0.5 % Hg.

MODE DE FORMATION. — Le cinabre est venu de la profondeur en solutions hydrothermales à l'état de sulfure double de mercure et de sodium ou d'ammonium, et a été précipité, soit par la diminution de la pression et de la température, soit par les substances bitumineuses des schistes graphitiques.

En effet, c'est au voisinage des schistes graphitiques qui recouvrent le grès porphyrique et le porphyre comme d'un manteau imperméable aux solutions mercurielles ascendantes, que les principaux amas ont été découverts; là où le manteau était absent, les solutions se sont répandues dans la masse de porphyre suivant de minces fissures, tandis que les amas se sont formés sous les schistes graphitiques, dans les grès porphyriques, où du reste les vides étaient plus grands.

INFLUENCE DE LA PROFONDEUR SUR LA RICHESSE. — Les mines de mercure d'Almaden (Espagne), Istria (Dalmatie) et Nikitofka (Russie) augmentent de richesse en profondeur; dans le cas de Vallalta, où la pente du schiste graphitique diminue avec la profondeur, comme le montre la coupe par la galerie O' Connor (fig. 26), il est probable que c'est sous la partie horizontale de ces schistes que leur imperméabilité a été le plus efficace à produire l'arrêt des solutions ascendantes, et que c'est là, dès lors, que le maximum de richesse du gisement doit se trouver.

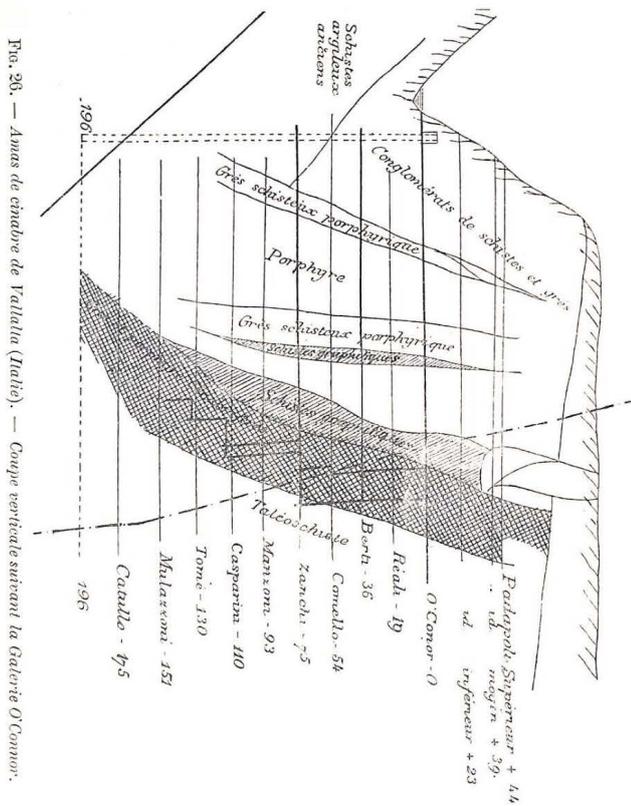


Fig. 30. — Annonciade de Tlalcala (Mexico). — Couppe verticale suivant la Galerie O'Connor.

V. — Gisements de remaniement formés par les eaux météoriques seules.

Nature des eaux météoriques. — Ces eaux sont chargées de Co^2 et O; elles décomposent les sulfures, carbonates, silicates, et enrichissent ou appauvrissent les gisements.

A) Une partie de ces eaux pénètre dans le sol et forme des gisements près de la surface.

B) Une autre partie gagne la profondeur et y forme des gisements.

C) Enfin, une autre partie (eau de ruissellement) ne pénètre pas dans le sol et s'écoule vers les rivières, les lacs et les mers, où elle forme également des gisements.

A. — GISEMENTS FORMÉS PRÈS DE LA SURFACE.

Niveau hydrostatique. — C'est le niveau des eaux souterraines.

C'est le niveau de l'eau dans un puits domestique.

C'est le niveau que le mineur ne peut dépasser en descendant que par l'emploi de pompes; celui qu'il appelle le niveau d'écoulement ou d'arène.

Ou bien encore (1) le niveau hydrostatique sépare la zone de surface soumise à l'assèchement et alimentant les sources, de la zone à imprégnation d'eau permanente.

(1) DE LAUSAY.

Ce niveau varie donc suivant les saisons, pluvieuses ou sèches.

La zone supérieure au niveau hydrostatique est la *zone vadose* (1) ou *zone météorisée*; elle est soumise à une circulation constante des eaux météoriques qui s'infiltrent par sa tête, et en sortent par le niveau hydrostatique; cette constance dans l'action, s'étendant à des durées géologiques, produit avec l'aide des variations de température de la surface qui fait éclater les roches, l'*altération* dite *superficielle des minerais* (2).

L'affleurement oxydé d'un filon qui, en profondeur, contient de la pyrite de fer ou de la chalcopryrite porte le nom de *chapeau de fer* ou *gossan*.

Exemples :

1. *Amas du mont Lyell* (Tasmanie).

GISEMENT. — Amas de pyrite de fer cuivreuse dans le silurien, de 10—90 mètres de puissance et de 300 mètres de longueur.

MINÉRAL. — EN PROFONDEUR, sous le niveau hydrostatique, la pyrite de fer cuivreuse a la composition moyenne suivante :

Cu . . .	3.5 %
Or . . .	5 grammes par tonne.
Ag . . .	93 id. id.

Ces teneurs de l'or et de l'argent ne permettent pas l'extraction directe de ces métaux.

A LA SURFACE, l'oxydation a transformé les sulfures en sulfates, qui ont été emportés, laissant une limonite et une hématite celluluses enrichies en or et argent, et qui, présentant la composition suivante :

(1) POSEPNY.

(2) La zone d'altération superficielle est la *belt of weathering*, de VAN HISE.

Or . . .	30 grammes par tonne.
Ag . . .	775 id. id.

constituent véritablement des minerais d'or et d'argent.

De sorte que le chapeau de fer de ce gisement a été exploité comme mine d'or; et le gisement en profondeur donne à présent du minerai de cuivre, métal d'où la métallurgie peut extraire l'or et l'argent.

2. *Placer « in situ », latérite, éluvion.*

Lorsque le chapeau de fer du filon aurifère (ou platinifère) est recouvert par des alluvions qui se sont déposées sans déplacer les éléments de la décomposition du filon, il s'est formé un placer *in situ*, c'est-à-dire sur place, sans transport (fig. 27); la forme anguleuse des fragments caractérise ce genre de placer.

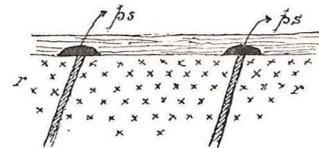


FIG. 27. — Coupe verticale transversale de deux filons.
ps, Placer *in situ* ou éluvion.
r, Roche éruptive.

Exemple : Certains placers aurifères de l'Oural.

3. *Filons de cassitérite des Cornouailles et du Devon* (3). — La cassitérite (SnO_2) résiste très bien aux agents atmosphériques; aussi les têtes des filons stannifères ont-elles été enrichies par dissolution des éléments étrangers (sulfures), et la teneur du minerai brut de la mine Dolcoath, qui était de 2 % Sn dans le gossan de la zone météorisée, est descendue à 1 % sous le niveau hydrostatique.

4. Les têtes des filons de blende, surtout de ceux encaissés dans le calcaire, sont constituées par des amas de

calamine; l'altération superficielle a pour résultat non seulement de changer le sulfure en carbonate et silicate, mais aussi de produire une épuration du minerai; on sait que le zinc de calamine est plus pur que le zinc de blende.

5. De même la galène aux affleurements est transformée en cérusite (ainsi que dans les amas de Leadville) (fig. 35, p. 603).

6. *Kaolinisation du granite.* — Le silicate double d'Al et de K de l'orthose est décomposé dans la zone météorisée; le silicate de K est entraîné en solution.

Le premier produit de la décomposition est la *cornish stone*, *growan*, *china stone*, *petunzite*, sorte de granite à demi décomposé contenant de la fluorine.

La décomposition plus complète, dans laquelle l'acide fluorhydrique de la fluorine semble avoir joué un rôle, donne le *kaolin*, *carclazite* ou *china clay*. Les gisements de kaolin, qui sont donc superficiels, passent en profondeur à la *china stone*, et cette roche, au granite; cependant on rencontre parfois du kaolin sous la *china stone*, ce qui peut parfaitement s'expliquer, soit par des circulations d'eaux souterraines, soit par des failles (1). (Voir pp. 600 et 601).

7. De même les couches de *bauxite* ($Al^2 O^3$, $H^2 O$) résultent de l'altération superficielle du granite (2).

8. Les couches de terres réfractaires du Bernissartien (Wealdien de Belgique) doivent leurs éléments à une roche éruptive qui a subi les phénomènes d'altération superficielle. Le massif de porphyre de Lessines (Belgique) est, par endroits, recouvert de terres réfractaires qui représentent un produit d'altération sur place (3).

(1) La pâte à porcelaine comprend comme squelette infusible le kaolin, et comme fondant la china stone.

(2) Les briques de bauxite sont utilisées pour le garnissage des fours Martin basiques.

(3) La boue plastique des macadams de nos routes est un exemple de la kaolinisation du porphyre, et à Lessines, etc., la roche d'affleurement, partiellement

9. *Filons d'alunite de la Tolfa* (Italie). — L'alunite, qui est un sulfate acide de Al et de K, s'est formé dans la zone météorisée aux dépens du trachyte des épontes.

10. *Minerai de fer de Michigan* (Mesabi, Lac Supérieur) (fig. 28).

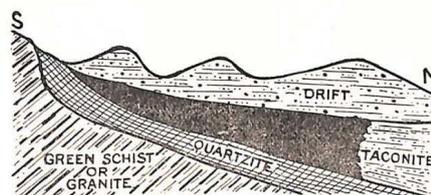


Fig. 28.

GISEMENT. — Couches d'hématite de 3—60 mètres de puissance, presque horizontales, reposant sur une roche imperméable généralement éruptive.

MINÉRAI. — Hématite à 60 % Fe.

MODE DE FORMATION. — Les eaux météoriques circulant dans une roche, la taconite, qui renferme du silicate de fer à une faible teneur, ont dissous et emporté la silice, et ont concentré l'oxyde ferrique.

La profondeur du gisement ne dépasse donc pas celle du niveau hydrostatique, soit 300—450 mètres; par dessous le minerai s'appauvrit.

Il faut en conclure que la quantité du minerai qui, à 60 % Fe, au Lac Supérieur, fait la fortune de la métallurgie des États-Unis, n'est pas inépuisable.

altérée par les influences atmosphériques, ne peut être employée comme macadam. Dans ces carrières, la roche en profondeur, préservée de l'altération, est d'excellente qualité pour pavés et macadams; de sorte qu'une carrière dont la surface est exploitée jusqu'à une profondeur de 25 à 30 mètres représente une valeur supérieure à celle d'une carrière d'où aucune roche n'a encore été extraite, ce qui peut paraître paradoxal.

11. *Poches de phosphate riche de Ciplly* (Belgique) (fig. 29).

Gisement. — Poches de phosphate à 70 % de phosphate tricalcique dans la craie phosphatée qui en contient 18 — 25 %; elles ont été formées par la décalcification de la craie, c'est-à-dire par la dissolution du carbonate de chaux par l'acide carbonique des eaux météoriques.

Cette action n'a pu se produire que là où la craie a affleuré; tandis que là où elle était recouverte par le manteau du tuffeau, qui est un calcaire grossier, pauvre en phosphate, elle a été protégée contre les actions météoriques; de sorte qu'en pratique on ne doit rechercher les poches riches dans la craie que là où la craie n'est pas recouverte de tuffeau.

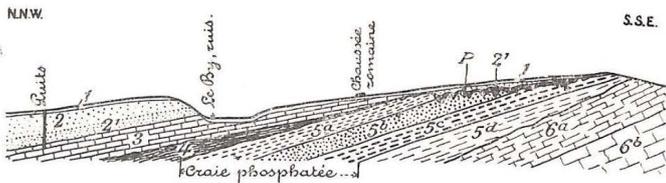


FIG. 29. — Coupe prise à Ciplly, parallèlement à la route de Maubeuge. (JULES CORNET.)

- LÉGENDE :
- 1. Pléistocène.
 - 2 et 2'. Landenien.
 - 3. Tuffeau de Ciplly
 - 4.
 - 5a, 5b, 5c. Craie phosphatée de Ciplly
 - 5d. Craie de Spiennes.
 - 6a. Craie de Nouvelles.
 - 6b. Craie d'Obourg.

Une remarque intéressante : la préparation mécanique industrielle de la craie phosphatée donne du minéral à 52 %, tandis que la préparation naturelle a donné du phosphate à 70 %; il est vrai que le procédé industriel est un procédé physique, tandis que l'enrichissement naturel est un procédé chimique.

12. Les gisements d'asphalte sont considérés comme produits par l'oxydation du pétrole au contact de l'air.

Phénomènes d'enrichissement secondaire dans la zone météorisée.

a) Or. — L'or, en partie dissous par le sulfate ferrique ou le chlorure ferrique dans le chapeau de fer, qui en retient cependant la plus grande partie dans les caries du quartz, traverse le chapeau et vient se précipiter au niveau hydrostatique sous forme de cristaux ou de végétations.

C'est à cette profondeur, relativement faible, — 10 à 25 mètres généralement, — que correspond le maximum de richesse du gisement.

Par dessous, le filon ne contient le plus souvent que des sulfures avec une faible teneur en or, et la présence du mispickel rend le minéral rebelle à l'amalgamation (*refractory or rebellious ore*).

b) CUIVRE. — *Enrichissement secondaire des sulfures* (1). — La répartition des minerais de cuivre dans la zone au-dessus du niveau hydrostatique peut être représentée par le schéma ci-après (fig. 30).

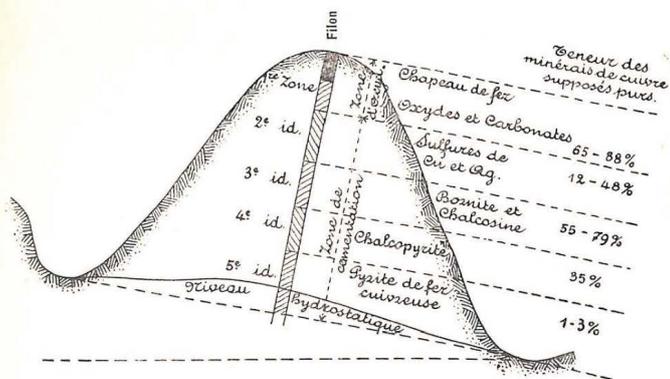


FIG. 30. — Coupe verticale transversale d'un filon cuprifère.

Le *minerai originnaire* est la pyrite de fer cuivreuse, c'est-à-dire un sulfure de fer avec un peu de sulfure de cuivre.

Zone d'oxydation. — A l'affleurement, par l'action des eaux superficielles, le sulfure de cuivre a été oxydé, carbo-

(1) De Launay, 1897-1901; Weed, 1899-1900; Emmons, 1900; Van Hise, 1900; Rickard, 1901, etc.

naté et sulfaté, et une partie a été dissoute et s'est déposée plus bas; ce qui reste du filon constitue le chapeau de fer, qui est d'autant plus cellulaire que le minerai originnaire était plus riche en sulfures.

Par dessous le chapeau de fer, se trouve une zone riche d'oxydes et de carbonates; minerai qui contient 65—80 % Cu, au lieu de 1—3 % du minerai originnaire.

Zone de cémentation. — Le sulfate de Cu dissous pénétrant dans la pyrite cuivreuse, est précipité sous forme de cuivres gris argentifères à 12—48 % de cuivre. Ceux-ci, redissous, par une nouvelle sulfatation, sont reprécipités plus bas sous les formes plus concentrées de bornite et de chalcosine à 55—79 % Cu, plus bas encore, là où les eaux commencent à perdre leur propriété oxydante, sous forme de chalcopyrite à 35 % Cu.

Enfin, au-dessous du niveau hydrostatique, le minerai originnaire, la pyrite de fer cuivreuse à 1—3 % Cu, reste inaltérée.

L'enrichissement successif, dû aux actions secondaires des eaux météoriques, constitue la caractéristique des mines de cuivre.

En résumé, l'on peut dire que les zones d'oxydation et de cémentation, situées toutes deux au-dessus du niveau hydrostatique, constituent la zone de richesse d'un gisement cuivreux, et que souvent à peu près brusquement le minerai riche passe en profondeur au minerai pauvre.

La détermination de la zone riche des filons de cuivre revient donc à évaluer la profondeur du niveau hydrostatique; les considérations ci-après peuvent être très utiles à cet effet.

Hauteur des zones d'oxydation et d'enrichissement des sulfures. — En même temps que les eaux météoriques enrichissent par infiltration le filon en sulfures complexes, ces eaux érodent la tête du filon; et il faut noter que la tête d'un filon peut contenir le minerai provenant de plusieurs centaines de mètres autrefois supérieurs à la surface actuelle.

De sorte que la zone d'enrichissement qui s'allonge par le bas par le fait des actions secondaires est démangée par le haut par le fait de l'érosion.

De la vitesse relative des deux phénomènes dépend l'extension ou la suppression de la zone enrichie.

Or, l'abondance des eaux météoriques et la forte pente de la surface sont deux facteurs favorisant l'érosion; mais l'abondance des eaux météoriques, à condition que la pente de la surface permette la pénétration, allonge aussi par le bas la zone d'enrichissement.

Les différents cas sont représentés par le schéma ci-après (fig. 31).

En F_1 , la pente est faible et la pluie abondante, l'érosion est peu forte; mais comme le niveau hydrostatique est élevé, la hauteur de la zone d'altération est faible; cependant la grande quantité d'eau a dû favoriser l'enrichissement secondaire des sulfures et la netteté de séparation des sulfures des divers métaux.

En F_2 , où la pente est forte et la pluie abondante, l'érosion est considérable et enlève la zone d'altération aussi vite qu'elle se forme; de plus le niveau hydrostatique est élevé; pour ces deux motifs la zone d'altération ne peut être que faible, mais elle est cependant très riche à cause de l'importance de la dénudation qui a concentré le minerai d'une grande hauteur de filon et de la quantité d'eau qui favorise l'enrichissement secondaire des sulfures.

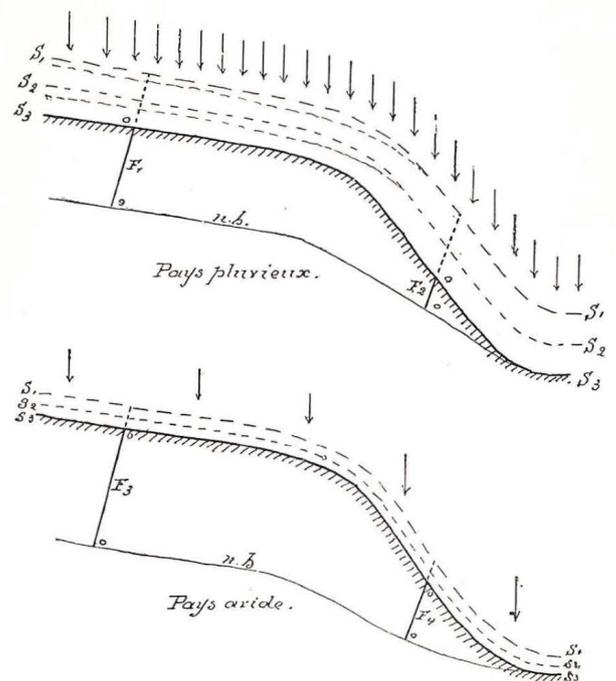


FIG. 31. — Schéma montrant les hauteurs des zones altérées o, o , en pays pluvieux (plaine et montagne) et en pays aride (plaine et montagne). Coupes verticales transversales aux filons F_1, F_2, F_3, F_4 .

LÉGENDE :
 F_1, F_2 . Affleurements en pays de plaine.
 F_3, F_4 Id. en pays de montagne.
 F_1, F_2 Id. en pays pluvieux.
 F_3, F_4 Id. en pays aride.
 S_1, S_2 Niveaux actuels du sol.
 S_1, S_2, S_3 Id. avant les érosions.
 o, o Zones d'oxydation et de cimentation.
 $n. h.$ Niveaux hydrostatiques.

En F₃ la pente est faible, et la pluie rare; l'érosion est donc peu importante, et l'eau a le temps de pénétrer assez bas, mais comme l'eau est peu abondante, l'enrichissement des sulfures est faible.

En F₁, l'entraînement du peu d'eau qui tombe est rapide le long de la pente, et la pénétration faible, aussi la zone d'altération, si elle est grande, est imprécise.

En résumé, la détermination de la hauteur de la zone d'enrichissement se fait au moyen de considérations relatives au climat et au relief du pays; ces considérations ont déjà été exposées (1); je les ai concrétisées par le schéma de la figure 31.

Exemples :

1. *Filon du Tennessee* (fig. 32) (s).

A la surface jusqu'à une profondeur de 30 mètres, la chalcopryrite (Cu Fe S) a été oxydée; les sulfates et le carbonate de Cu formés ont été entraînés par solution vers les niveaux inférieurs, où il s'est formé un dépôt de sulfures de cuivre riches.

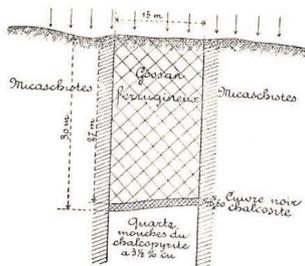


FIG. 32.

(1) SPURR.

2. *Amas de Monte-Catini* (Italie) (s).

La coupe et le schéma de la figure 33 montrent la succession des différents minerais de cuivre.

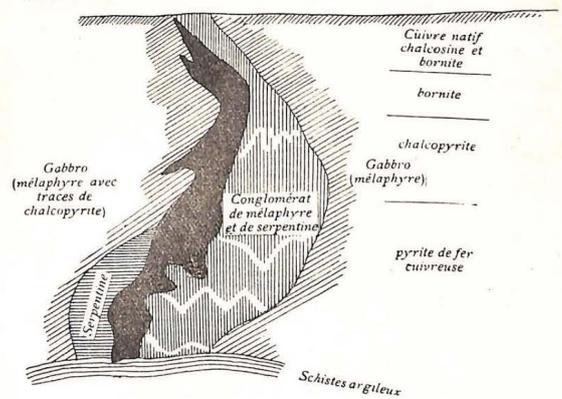


FIG. 33. — Amas de Monte-Catini (VON RATH).

3. *Filon de Mystery Pride* (fig. 34).

GISEMENTS. — Filon dans le granite (tonalite).

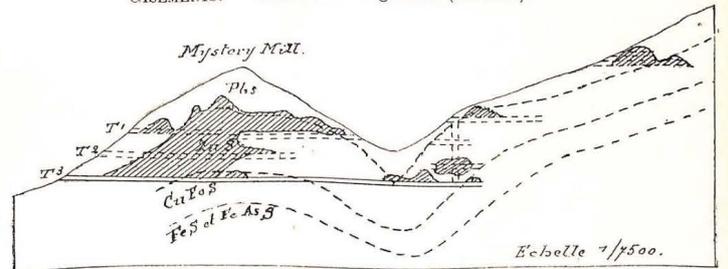


FIG. 34. Coupe longitudinale du filon Mystery Pride à Monte-Christo (Washington) (J.-E. SPURR)

MINÉRAI. — Galène, blende, chalcopryrite, avec or et argent.

MODE DE FORMATION. — L'origine des métaux est à attribuer aux épointes de granite, d'où les eaux de circulation les ont extraits pour les déposer dans une cassure (1).

L'enrichissement secondaire a eu pour effet ensuite de classer les sulfures d'après les degrés de solubilité, les plus solubles étant entraînés le plus bas.

La zone d'enrichissement descend jusqu'à la profondeur de 186 mètres.

c) ARGENT. — Les filons de sulfures d'argent présentent également dans la zone météorisée des phénomènes d'enrichissement secondaire.

Mexique (2) :

1^{re} zone : Ag, oxydes de Fe et Mn, quartz carié ;

2^{me} zone : Kerargyrite (Ag Cl), bromite (Ag Br) ;

3^{me} zone : Argyrose (Ag² S), stibine (Sb², S³), bonanza (enrichissement secondaire) ;

4^{me} zone : Argyrythrose (Ag² S + Sb² S³), blende, galène, etc. ;

5^{me} zone : (450 — 500 m.), blende, pyrite, chalcopryrite, quartz, pauvres en argent.

INFLUENCE DE LA PROFONDEUR SUR LA RICHESSE. — Les hauteurs de la zone météorisée sont :

Tennessee	30 mètres
Lac Supérieur (fer)	300-450 id.
Monte-Cristo	180 id.
Autres exemples	225 id.

Les mines qui vivent sur la zone météorisée ne sont donc éventuellement riches que jusqu'à une profondeur faible :

(1) Voir p. 601.

(2) DE LAUNAY

dès l'entrée des travaux dans la zone des minerais vierges, la richesse tombe brusquement.

Aussi les déconvenues dans ces mines, notamment dans les mines d'or et dans les mines de cuivre, ont-elles été souvent grandes pour les personnes non initiées qui ont cru que la richesse du minerai des affleurements se maintiendrait en profondeur.

En somme, il faut considérer qu'en général dans la zone météorisée la nature a, par une métallurgie humide, enrichi le minerai jusqu'au niveau hydrostatique, sous lequel le minerai n'a plus la teneur suffisante pour payer l'extraction du métal, à moins que la puissance du gisement soit énorme.

Au sujet de certaines profondeurs, il faut noter que des lambeaux de filons qui avaient subi le phénomène de l'altération superficielle, ont parfois, par suite d'un affaissement de la croûte terrestre, été enfouis à grande profondeur et ont été recouverts de terrains plus récents ; ce sont des cas rares où l'altération superficielle se retrouve à grande profondeur (1).

Il faut encore observer que bien en dessous du niveau hydrostatique apparent, il peut exister des fentes secondaires qui permettent l'écoulement partiel des eaux météoriques à un niveau hydrostatique réel, jusqu'où par suite l'enrichissement secondaire a pu s'étendre.

B. — GISEMENTS FORMÉS DANS LA PROFONDEUR (2).

Les eaux météoriques circulent souterrainement à travers les terrains, y dissolvent des sels et les transportent concentrés en d'autres points ; ces eaux froides, passant dans un massif éruptif peuvent même se rechauffer à son contact, et augmenter ainsi leur puissance de dissolution.

(1) EMMONS et WIED. — Découverte en profondeur (620 mètres) de la chalcopryrite dans les mines de Butte.

(2) VAN HISE.

Le travail des eaux de circulation produit l'enrichissement ou l'appauvrissement des gisements; il est visible dans une mine en exploitation

Ces eaux sont dites « eaux profondes » (1); elles circulent sous le niveau hydrostatique; leur profondeur ne dépasse pas 300 à 600 mètres.

Exemples :

1. *Amas de Leadville* (Colorado) (fig. 35) (2).

GISEMENT. — Série d'amas de contact, de forme tabulaire, à faible pente, entre un toit de roche éruptive (porphyre blanc) et un mur de calcaire dolomitique carbonifère.

MINÉRAIS. — Aux affleurements, le carbonate de plomb avec argent et or domine.

En profondeur, les sulfures de Pb, Zn, Fe, apparaissent.

GANGUES. — Silice, silicate de fer, manganèse, calamine et barytine.

ANALYSE du minerai brut de la profondeur :

Zn.	Pb.	Fe.	S.	Ag.
25 %	10 %	22 %	39 %	10 onces par tonne.

ORIGINE DES MINÉRAIS (2). — Les dépôts ont été formés par les eaux superficielles qui, empruntant leurs métaux aux calcaires jurassiques traversés, en les dissolvant sous forme de sulfures alcalins, ont suivi la surface de contact du porphyre, lequel a agi comme un manteau imperméable pour empêcher la diffusion des solutions.

Les sulfures sont les dépôts originaux; ils ont été précipités par la chaux du calcaire; les carbonates sont le résultat des altérations superficielles.

(1) POSEPSY.
(2) ERMOS.

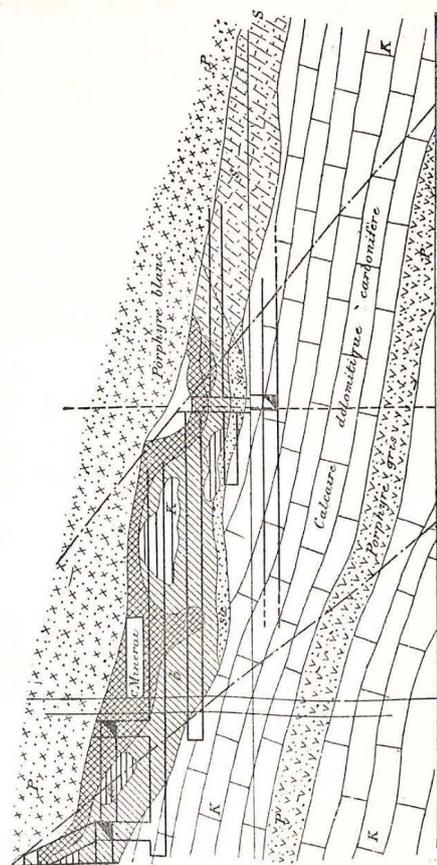
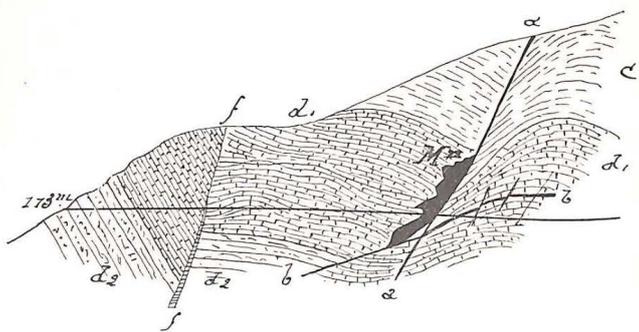


FIG. 35. — Coupe verticale par l'amas de White Cap (Leadville) (A. Blow).
a, argille. b, gangue, remplissage métallifère. c, minerais carbonatés.
S, minerais sulfurés. sa, minerais sulfurés satuleux. K, calcaire carbonifère. P, porphyre.

2. Amas de minerais de manganèse de Las Cabesses (Ariège) (fig. 36) (2) (1).



Sud FIG. 36. — Coupe verticale du gisement de Las Cabesses (Ariège). Nord

LEGENDE : c, Schiste argileux du culm (carbonifère inférieur).
 d₁, Marbre griotte (dévonien supér.)
 d₂, Schistes (dévonien supérieur)
 Mn, Minerais de Mn.
 aa, Coupe graphiteuse.
 bb, Coupe de pied.
 ff, Filon d'ophte (variété de diorite).

GISEMENTS. — Amas le long de failles dans le marbre griotte (dévonien supérieur) et les schistes argileux du culm (carbonifère inférieur).

MINERAI. — A la surface, oxydes de Mn à 40—50 % Mn; en profondeur, à partir de 20 mètres, dialogite (carbonate Mn) rose, à 40—42 % Mn.

(1) KLOCKMANN.

MODE DE FORMATION (1). — Les eaux de circulation ont dissous le Mn du marbre griotte qui en contient 1—2 %, et l'ont concentré le long de failles, par remplacement métasomatique du carbonate de chaux par le carbonate de Mn; il y a en effet passage insensible du marbre à 1—2 % Mn au dialogite à 40—50 % Mn.

On peut estimer donc qu'une tonne de minerais à 45 % de Mn a été formée aux dépens du manganèse de 45 : 1.5 = 30 tonnes de marbre.

Les oxydes de la surface sont le produit de l'altération superficielle.

INFLUENCE DE LA PROFONDEUR SUR LA RICHESSE. — La mer des « eaux profondes » n'a pas une profondeur supérieure à 300-600 mètres; sous cette profondeur donc, par rapport à la surface contemporaine de leur formation, ces amas ne peuvent exister.

EXTENSION DU RÔLE DES EAUX MÉTÉORIQUES AUX GRANDES PROFONDEURS. — Une école de géologues (2) admet que la mer des eaux profondes sature les cavités comprises entre les profondeurs de 300 et 9,000 mètres et explique comme suit leur circulation :

La charge de la colonne d'eau élève le point d'ébullition de l'eau sous l'action de la chaleur intérieure, mais la vaporisation qui se produit néanmoins cause des circulations ascendantes.

D'autre part, les eaux météoriques pénétrant dans le sol en des altitudes élevées (en s par exemple, fig. 37) pressent en dessous de la zone hydrostatique, sur les eaux profondes, et peuvent les faire jaillir ailleurs sous forme de sources, surtout que pour aider à la circulation, il y a la différence des densités de la colonne descendante froide (a-c) et de la colonne montante (c-b), réchauffée en profondeur.

Dans leur descente (a-c), leur cheminement horizontal (en c) et le début de leur remontée (suivant c-b), les eaux

(1) VITAL.

(2) VAN HISE.

météoriques se chargent de sels; elles continuent leur ascension sous l'action de la poussée des eaux froides descendantes et sous l'action de la chaleur interne. Elles affluent des petites fissures dans les grandes artères (phénomène de sécrétion latérale) et s'élèvent de régions de chaleur et de pression, où elles dissolvent les sels, vers des régions plus

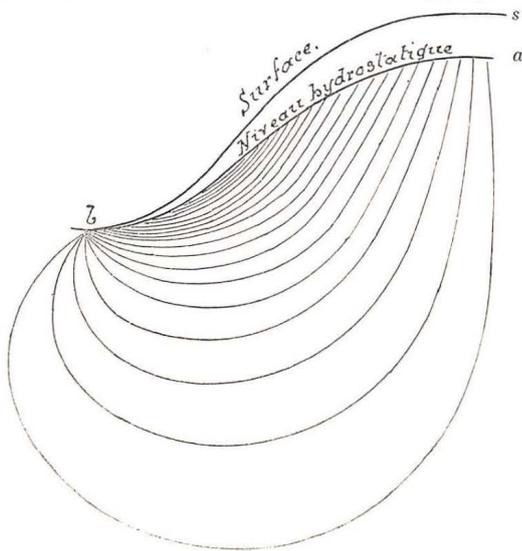


FIG. 37.

Coupe verticale montrant la circulation des eaux profondes.

VAN HISE.

froides, où elles les précipitent, formant ainsi les gisements filoniens.

Ce que l'on sait de la siccité des mines en profondeur, sous 600 mètres, vient à l'encontre de cette notion de la

circulation des eaux profondes. A cette objection il a été répondu que la siccité actuelle d'un filon aux grandes profondeurs résulte du dépôt métallifère lui-même qui a formé bouchon; mais il reste inexplicé pourquoi l'exploitation des filons n'a jamais rencontré des poches d'eau qui seraient restées emprisonnées dans ce cas entre deux bouchons.

Nous admettons donc plutôt l'intervention des eaux magmatiques (p. 566) dans la formation des gisements métallifères profonds, et nous pensons que l'action des eaux météoriques, se borne à la zone météorisée et à la zone des « eaux profondes » dont la profondeur ne dépasse guère 300 à 600 mètres.

La théorie qui attribue aux eaux météoriques une influence jusque 9,000 mètres vient d'être fortement ébranlée par des expériences (1) qui ont amené la découverte, dans les eaux minérales, de l'argon, de l'hélium (gaz du radium) et du néon. Ces gaz n'existent pas dans l'atmosphère, mais ont été découverts dans les roches éruptives chauffées au rouge. Leur présence dans les eaux minérales et dans les roches éruptives, et leur absence dans l'atmosphère obligent d'admettre que les eaux minérales se sont dégagées à l'état de vapeurs des massifs éruptifs avant leur consolidation et ne peuvent provenir des eaux météoriques.

C. — GISEMENTS FORMÉS A LA SURFACE.

Les eaux météoriques qui restent à la surface, entraînent vers les rivières, les lacs et les mers, les matériaux de l'érosion; ainsi se forment :

- a) Les amas superficiels;
- b) Les gisements détritiques : alluvions, placers;
- c) Les sédiments dans les lacs et les mers.

(1) Armand Gautier (1906).

a) Amas superficiels.

Les éléments charriés sont parfois précipités presque immédiatement; ainsi se sont produits les amas de limonite des prairies.

MODE DE FORMATION. — Les eaux météoriques, chargées de CO² dissolvent le fer des roches éruptives ou autres à l'état de carbonate ferreux, et se concentrent dans les marécages où, par l'intervention des plantes, le fer est précipité à l'état d'un hydroxyde qui contient le phosphore des plantes.

b) Dépôts détritiques. — Alluvions — Placers.

1. Or. — Considérons un filon dont l'affleurement en pays de montagnes est soumis aux actions météoriques (fig. 38).

Nous avons montré comment, par l'effet de ces actions, dans la zone située au-dessus du niveau hydrostatique, l'or était concentré par suite de la dissolution de la pyrite sulfatisée, et comment, même dans la zone de cimentation, l'or en partie dissous pouvait se déposer en cristaux.

Mais l'érosion en même temps fait son œuvre, et les éléments désagrégés du filon sont entraînés, avec des fragments d'autres roches, vers la rivière où ils sont roulés, arrondis, émiettés; au bout de quelques kilomètres de charriage, les galets deviennent des sables.

Les éléments désagrégés se classent dans l'ordre des densités: les métaux denses déposent les premiers; les matières stériles, plus légères sont entraînées plus loin. En un mot le courant de la rivière produit une préparation naturelle.

PLACER DE RAVIN. — D'abord sur les flancs de la montagne même, un premier dépôt se forme, dans un placer de ravin, étroit et profond, où l'or est gros et à arêtes vives.

PLACER DE CHENAL. — Dans la plaine, la rivière prend un courant lent et sinueux, et dans son lit se forme un placer de chenal; l'or s'accumule surtout dans les anfractuosités des têtes des couches inclinées dans le même sens que le courant.

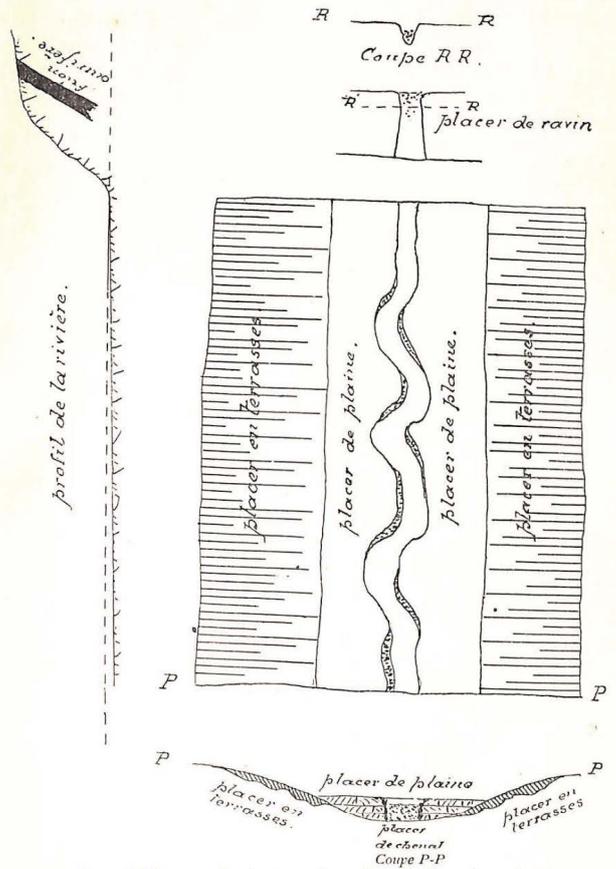


FIG. 38. — Schéma représentant un placer de ravin, un placer de plaine, un placer en terrasses et un placer de chenal.

PLACER DE PLAINE. — Dans son cours sinueux, la rivière déplace son lit, déblayant ses rives concaves, et remblayant ses rives convexes, où se forment des barres (fig. 38).

L'or se trouve surtout dans les fissures de la roche de fond ou *bedrock*.

On (1) explique aussi l'accumulation des grains d'or sur le *bedrock* par une sorte de filtration des grains d'or au sein d'une masse meuble sous l'action des variations de niveau des eaux, tout comme se produit la précipitation des grains de minerais à travers le stérile, dans un crible hydraulique.

L'or est en grains fins, à cause de la longueur et des répétitions du transport.

La présence de magnétite dans la battée d'essai indique que la préparation mécanique est incomplète et que donc le placer est pauvre, tandis que la présence de sables rouges (grenats) est un indice de richesse pour le motif inverse (2).

Le rapport de la quantité de matières stériles et d'or ainsi transportée par une rivière à la quantité concentrée dans le placer est souvent très élevé.

Exemple : Rivière de Californie (3) :

a) Dimensions de la vallée :

Largeur entre les crêtes . . . 1,800 mètres.

Profondeur 600 id.

Volume érodé par mètre courant

$$\frac{1,080,000}{2} = 540,000 \text{ mètres cubes.}$$

b) Dimensions du placer :

Largeur 120 mètres

Profondeur 6 id.

Volume du placer par mètre

courant de vallée 720 mètres cubes

Degré de concentration $\frac{a}{b} = 750$

(1) POSEPNY.

(2) SPURR.

(3) R.-H. STREDELL.

Les placers de chenal et ceux de plaine s'exploitent par dragages.

PLACER DE TERRASSES. — La rivière approfondit constamment son lit, de sorte que sur les flancs de la vallée on retrouve les restes des anciens placers de plaines, sous forme de placers de terrasses.

Ces placers s'exploitent par la méthode hydraulique.

PLACER GLACIAIRE. — Les glaciers, qui sont des rivières de glaces, transportent également des débris des filons aurifères; ils forment des placers dans leurs moraines latérales et terminales, placers qui sont toujours pauvres; ou bien ils laissent écouler de leur pied une rivière dont le dépôt contient de l'or très fin, parfois en quantité exploitable.

PLACERS ANCIENS. — Ce sont ceux qui ont été formés dans des vallées qui ont cessé d'exister comme telles par suite d'un mouvement ayant déplacé les cours d'eau.

Comme les vallées modernes donnent un moyen d'écoulement de l'eau, l'exploitation se fait par abatage hydraulique.

PLACERS SOUTERRAINS (deep leads). — Les anciennes vallées aurifères peuvent avoir été comblées par des éruptions volcaniques; il s'est ainsi formé des placers souterrains (fig. 39) où l'on retrouve, sous des chapeaux volcaniques, un placer de chenal et un placer de terrasses.

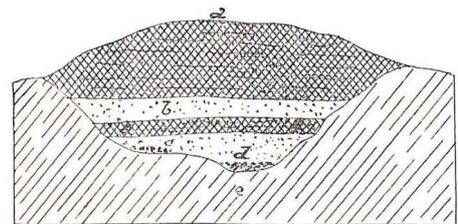


FIG. 39. — Coupe schématique verticale par un placer souterrain.

a, a. Chapeaux volcaniques.

b. Placer supérieur.

c. Placer de terrasses. (E. BROWNE)

d. Placer de chenal.

Ces placers anciens, souterrains ou superficiels, peuvent avoir été plissés et aussi rejetés par des failles.

PLACERS DE PLAGE. — De tels placers se forment :

a) Par les apports des fleuves aurifères;

* b) Par l'enrichissement des graviers côtiers effectué par le ressac (fig. 40).

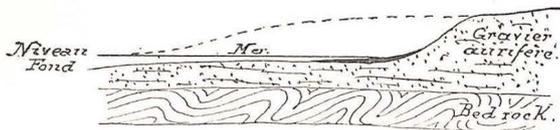


FIG. 40. — Coupe verticale par un placer de plage.
(Cap Nome, Alaska). SCHRADER et BROOKS

PLACER FOSSILE. — On réserve le nom de placer aux formations de l'époque quaternaire et même tertiaire.

Mais dans les époques antérieures, il s'est formé aussi des placers dont un petit nombre seulement est connu à cause du recouvrement de roches qui les cachent à notre vue.

On a voulu ranger dans cette classe, les couches de conglomérat du Transvaal, que nous avons décrites comme étant des couches de graviers enrichies par des solutions aurifères.

2. Oxydes d'étain (cassitérite). — Alluvions de cassitérite, à Bangka (fig. 41).

GISEMENT. — Couches de 4—16 mètres de puissance de cassitérite à 2—4 % de Sn, parfois 10 % Sn.

La cassitérite résiste parfaitement aux agents atmosphériques; c'est ce qui explique sa présence dans les alluvions.

Des alluvions semblables s'exploitent en Tasmanie, par l'abatage hydraulique.

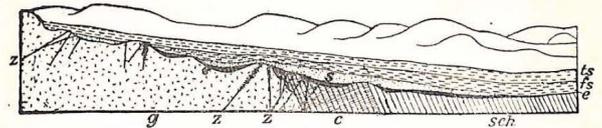


FIG. 41. — Coupe d'un gisement à Bangka. R. BECK.

LÉGENDE :
As, Argile et sable fin;
fs, Sable fin en partie argileux 4—16 mètres;
s, Sable gros;
c, Couche de minerai d'étain (Kaksa);
sch, Schiste et quartzite;
c, Schiste métamorphique de contact;
g, Granite;
z, Filons stannifères

3. Platine. — Nous avons dit en commençant que les inclusions métalliques dans les roches éruptives ne sont jamais exploitables, ainsi les péridotites de l'Oural contiennent des grains de platine, à une teneur trop faible pour être rémunératrice.

Mais cette roche, par les altérations superficielles, a fourni les éléments des placers d'où l'on extrait le platine.

4. Placers de diamants du Brésil.

5. Placers de rubis et de saphirs dans l'Inde (1).

6. Placers de rivière, de monazite (phosphates des terres rares : thorium, cerium, lanthanum et didymium) dans les Carolines (Etats-Unis d'Amérique) (2). Les roches mères sont le granite et le gneiss, qui ne contiennent que des grains de ces phosphates.

7. Placer de plage de magnétite.

En résumé, les placers sont des résidus de l'enrichissement des minerais par des procédés mécaniques naturels et

(1) Voir p. 551.

(2) Les oxydes des terres rares servent à la fabrication des manteaux pour les lampes à incandescence (Auer, etc.).

qui sont ceux que l'industrie a copiés et appliqués dans les ateliers; mais de tels gisements n'existent que pour les métaux et les oxydes résistant aux actions atmosphériques et dont le poids spécifique est assez élevé pour différer suffisamment de celui des matières stériles.

L'exploitation des placers, qui se fait presque toujours à ciel ouvert, dans un gisement qui, comme nous venons de le dire, a été enrichi par préparation naturelle, est bien plus lucrative que celle des mines, qui demande de la machinerie et des connaissances spéciales.

INFLUENCE DE LA PROFONDEUR SUR LA RICHESSE. — Les alluvions que nous connaissons sont presque toutes superficielles; la notion de la profondeur n'intervient pas dans l'appréciation de leur richesse.

c) Sédiments dans les lacs et les mers.

Les matériaux érodés transportés par les fleuves gagnent les lacs et les mers où ils se déposent.

IMPORTANCE DE L'ÉROSION. — Au moyen du volume des matières solides charriées à la mer par les fleuves, on a calculé que l'usure moyenne des continents est de 2,5 millimètres, en 10 ans, soit 1 mètre en 4,000 ans; l'érosion, marchant à cette vitesse, mettrait les terres au niveau des mers en 2,700,000 années; mais le temps que prendra ce nivellement sera beaucoup plus grand parce que la vitesse d'érosion suit une progression décroissante, à mesure que les pentes diminuent.

Il n'en résulte pas moins que l'érosion fait disparaître à la longue des chaînes de montagnes entières.

MODES DE PRÉCIPITATION :

a) Par l'action de la pesanteur :

Les éléments désagrégés des roches sont transformés en galets, puis en sables dans les rivières et les fleuves et sont

entraînés vers les lacs et la mer, où ils se déposent en couches ou sédiments ;

b) Par l'action chimique :

Calcaire. — Les eaux des rivières dissolvent par l'acide carbonique qu'elles contiennent le carbonate de chaux des galets; puis l'évaporation dans les lacs et la mer produit le dépôt de calcaire par le départ de l'acide carbonique ;

Dolomie. — Ce carbonate de chaux et de magnésie se forme de la même manière.

Sel (Na Cl), gypse, etc. — La salure de la mer provient de l'apport des fleuves qui ont dissous le sel des roches, et le calcul montre que pour amener la mer à sa salure actuelle, il a fallu l'érosion d'un volume de roches de 290 millions de kilomètres cubes, opération qui au taux actuel de l'érosion, c'est-à-dire à raison de 26 kilomètres cubes par an, a demandé 11,000,000 d'années ;

L'évaporation de l'eau dans les lagunes amène la précipitation successive des sels suivant leur degré de solubilité, dans l'ordre de 1 à 5, de façon que la coupe géologique est la suivante :

5. Sel (NaCl) et sel de Mg, K, Br, I (Kaïnite, Kieserite, Carnallite, Tachhydrite, Boracite).
4. Sel (NaCl) pur.
3. Sel et gypse.
2. Gypse.
1. CaCO³ et oxydes de fer.

Cette succession, qui se rencontre à Stassfurt, n'est pas générale; en effet, le gypse peut s'être déposé seul si le degré de concentration voulu pour la précipitation du sel n'a pas été atteint.

Ces précipitations (1) ne peuvent se produire que dans des baies isolées de la mer par une barre totale ou partielle;

(1) OCHSENIUS.

si elle est partielle, l'eau de mer alimente la baie à mesure de l'évaporation; si la barre est totale, elle peut cependant être franchie par les eaux de la mer, dans les hautes marées ou durant les tempêtes.

Il est nécessaire d'admettre une alimentation continue d'eau dans la baie pour expliquer la formation de gisements salins de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur comme celui de Stassfurt.

Sels métalliques. — Les solutions métalliques sont parfois précipitées par réaction chimique; ainsi l'or est précipité des solutions chlorurées par la pyrite de fer;

c) Par l'action organique :

Les mollusques forment leur coquillage en extrayant le calcaire de l'eau de mer; les débris de ces coquillages constituent des couches compactes.

La craie (1) est constituée par des débris de coquilles; la craie phosphatée (2) contient en outre des grains bruns de phosphate de chaux, formés par de menus débris d'excréments de reptiles et de poissons, etc.

Certaines diatomées forment leur carapace au moyen de la silice que contient l'eau de mer; les débris de ces carapaces forment des couches de farine fossile (tripoli, terre d'infusoires).

De même, les matières organiques, qui constituent des réducteurs énergiques, précipitent les métaux à l'état de sulfures, par exemple, le fer et le cuivre à l'état de pyrite.

Ces trois modes, *a*, *b* et *c*, précipitent évidemment en mélange les matières stériles et les matières utiles.

(1) La craie sert à la fabrication de la chaux, du ciment artificiel, etc.

(2) La craie phosphatée (voir p. 592) s'exploite en Belgique, à Ciply, etc.; elle donne par préparation mécanique du phosphate destiné à la fabrication du superphosphate (engrais); et elle est employée comme fondant dans la fabrication de la fonte phosphoreuse pour les aciéries Thomas.

MÉTAMORPHISME. — Par le recouvrement, la chaleur et la pression, les sédiments, ainsi formés, durcissent, puis relevés à la surface du sol par les mouvements de l'écorce terrestre constituent les roches sédimentaires, le calcaire, la craie, le marbre, par exemple, qui sont exploités.

En somme, les éléments de ces roches ont été fournis en premier lieu par les roches éruptives.

Exemples :

1. *Schistes bitumineux cuprifères du Mansfeld* (fig. 42).
GISEMENT. — Couche de 0^m50 de puissance.



FIG. 42. — *Schistes bitumineux cuprifères du Mansfeld.*

MINÉRAI. — Schiste bitumineux avec fine poussière de pyrite cuivreuse, bornite, chalcosine, pyrite, galène, blende, etc.

TENEUR. — Cu 3 %, Ag. 150 grammes par tonne.

Le bassin a une superficie de 500 kilomètres carrés.

MODE DE FORMATION. — Dans le Permien et le Trias, périodes durant lesquelles l'existence des mers peu profondes soumises à l'évaporation est démontrée par les couches de gypse, sels, etc., ainsi que par les grès rouges, la précipitation des métaux dans les boues des mers, à l'état de sulfures, a été plus grande que dans les autres époques; parce que d'abord l'évaporation de l'eau de mer a concentré les métaux avec les autres substances et puis que les conditions côtières ont fourni la matière organique pour la réduction et la précipitation des métaux (1).

On a reconnu la présence du cuivre dans l'eau de mer.

(1) SPURR.

2. Gisements de pétrole (α , β , μ et ν).

Le pétrole se trouve à l'état d'imprégnation dans des couches perméables de sables, grès ou calcaire comprises entre deux couches imperméables de schistes ou d'argile.

A cause de la pression des gaz qui accompagnent le pétrole, celui-ci tend à s'élever; il gagne donc les sommets des plissements en selles ou anticlinaux ou les dômes.

Lorsqu'un trou de sonde pénètre à la couche pétrolifère, il y a donc, si celle-ci est profonde, ascension de liquide et des gaz par l'effet de leur pression et même projection; sinon il faut extraire le liquide.

MODE DE FORMATION (1). — Lorsqu'un lac se remplit par les apports des rivières, la boue de putréfaction (*sapropel*) qui se dépose (a, fig. 43), contient les restes des organismes aquatiques (algues oléagineuses et animaux avec leurs excréments); en l'absence d'oxygène ces restes se conservent.

Après remplissage du lac et superposition d'autres terrains après des âges géologiques, ces couches de boue se

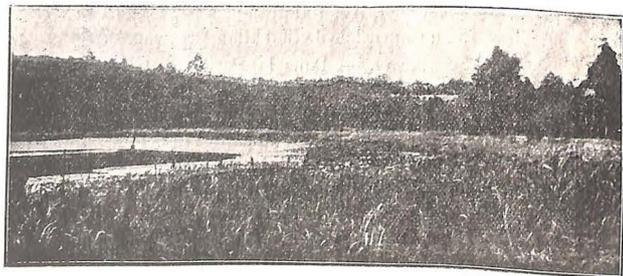


FIG. 43. — Lac en remplissage de sapropel.

a) Sapropel. b) Eau. c) Plantes de l'habitus du roseau.

(1) POTONIÉ.

trouvent dans la profondeur de l'écorce terrestre et sont transformées en *couches bitumineuses* (1), puis, par l'effet de la pression, de la chaleur interne terrestre à laquelle s'est ajoutée parfois la chaleur des roches éruptives et celle développée par le plissement des couches, la distillation qui s'est produite a formé le pétrole.

Par distillation de boues modernes, on est parvenu à fabriquer du pétrole (2) et l'on sait que des schistes bitumineux sont exploités pour être distillés.

3. Gisements de tourbe, lignite, charbon, etc. (3).

Après le comblement du lac, si une végétation peut se produire sur le sol nouveau, elle sera d'abord de l'essence des plantes marécageuses, puis les roseaux se développeront; partant des bords, ils gagneront le centre.

Par suite de l'accumulation des restes de cette végétation, il se produira une sorte de prairie élastique sur laquelle les arbres se multiplieront (fig. 44).



FIG. 44.

FIG. 44. — Forêt de l'époque carbonifère.

(Reconstitution d'après les fossiles, par M. POTONIÉ.)

- (1) Comme les couches bitumineuses et cuprifères du Mansfeld (p. 617).
 (2) ENGLER.
 (3) POTONIÉ.

Les restes amoncelés de ces arbres forment la tourbe; à mesure que la couche de tourbe s'épaissit par le dessus, les racines inférieures des arbres meurent, parce que la tourbe est imperméable et que donc sous elle les racines ne trouvent plus de nourriture.

Il faut donc que les arbres développent leurs racines horizontalement (fig. 45, 46 et 47); on retrouve des racines

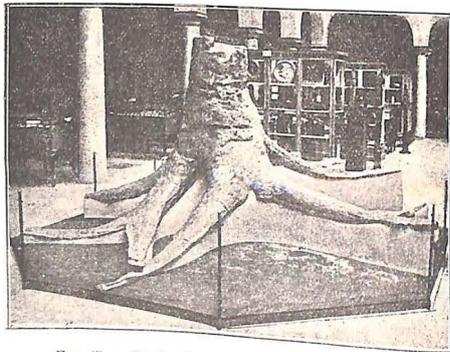


FIG. 45. — Souche d'arbre de l'époque carbonifère avec rhizomes horizontaux.

fossiles de ce genre dans le mur des couches de houille; ce sont les racines de *stigmaria*.

La figure 48 montre les souches des arbres qui se retrouvent sur le mur d'une couche de lignite après son exploitation.

Pour s'imaginer l'importance de la végétation carbonifère, il faut songer que certaines couches de houille ont jusque 10 mètres de puissance (2).

Telle est la formation des couches de tourbe que la superposition des terrains, la chaleur et la pression trans-

forment en lignite, en charbon bitumineux, puis en charbon anthraciteux, par l'effet de distillations fractionnées.

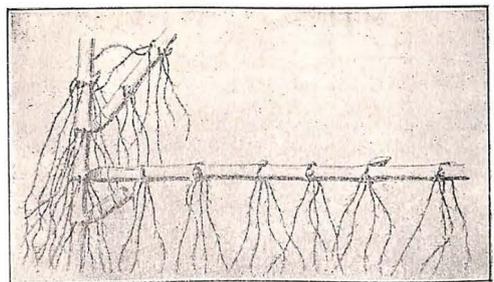


FIG. 46. — Rhizomes de roseau. — POTONÉ.

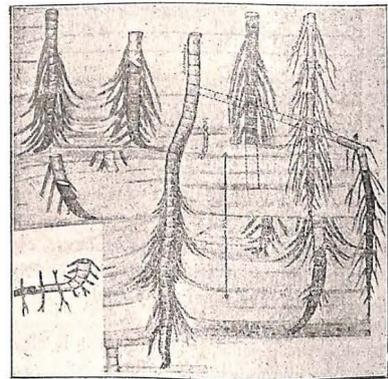


FIG. 47. — d'après GRAND'EURY.

La marche du métamorphisme est accélérée (1) quand les gaz distillés peuvent s'échapper par les joints et les

(1) M. R. CAMPBELL.

clivages de la couverture de roches; en effet, si les gaz sont retenus, la pression arrête la distillation.

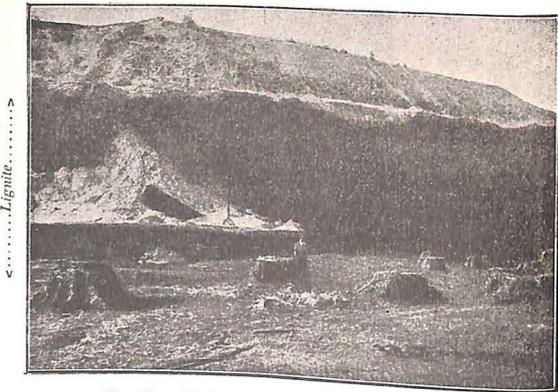


FIG. 48. — Exploitation à ciel ouvert de lignite (POTOSUÉ).

4. Gisement de soufre d'Italie (solfatares).

Imprégnations dans le calcaire tertiaire; le soufre a été formé par la réduction du gypse ou sulfate de chaux produit par l'évaporation de l'eau dans les lagunes; les agents réducteurs ont été les hydrocarbures.

INFLUENCE DE LA PROFONDEUR SUR LA RICHESSE. — Comme ces gisements sédimentaires ont été primitivement horizontaux, leur profondeur actuelle ne résulte que des plissements de l'écorce terrestre.

Le caractère des gisements stratifiés est la constance de la richesse des minerais; par suite, la rémunération des capitaux engagés dans leur exploitation est régulière.

VI. Gisements dynamo-métamorphiques.

Ce sont ceux fournis par le métamorphisme régional ou dynamo-métamorphisme, donc par la chaleur et la pression dues aux plissements de roches anciennes.

Exemples :

1. Couches de graphite (1) dans les Alpes provenant de couches redressées de charbon;
2. Ardoises dans les terrains primaires;
3. Gisements de magnétite dus au métamorphisme de dépôts de limonite;
4. Gisement de franklinite $[3(\text{Fe Zn})\text{O}(\text{Fe Mn})^2\text{O}^3]$ avec Willemite (Zn^2SiO^2) et Zincite (ZnO) de New-Jersey (Etats-Unis d'Amérique) et résultant du métamorphisme d'une couche de limonite avec oxyde de Zn et de Mn (2). Ce minerai, qui a l'apparence du granite, donne par préparation mécanique du minerai de Zn (z) et du minerai de Mn (λ).

(1) Le graphite est employé à la fabrication des creusets, au polissage des poêles (mine de plomb), à la fabrication des crayons, etc.

(2) KEMP.

CONCLUSIONS.

En résumé, les têtes des gisements métallifères, c'est-à-dire les affleurements, sont en général plus riches que les parties profondes; il en est certainement ainsi pour les gisements soumis à l'altération superficielle, comme ceux de l'or et du cuivre.

Aussi faut-il tenir en défiance les gisements métallifères écrémés de leurs affleurements.

Il est certain que les bons gisements métallifères, dont la vie est durable, sont rares; mais il existe cependant quelques gisements en exploitation depuis des siècles. Nous en avons cité quelques-uns; il est bien permis d'affirmer que le monde en contient encore beaucoup de pareils que l'avenir fera découvrir.

TABLE DES MATIÈRES

	PAGES	FIGURES
Utilité pratique des théories	541	
De la persistance des gisements en profondeur	542	
Plan général du travail	543	
Abréviations	544	
Théorie génétique des gisements :		
Classification	546	
Origine des métaux	547	
I. Formations volcaniques	548	
Exemple : Solfatares	549	
II. Ségrégations magmatiques :		
Composition des roches éruptives	550	
Phénomènes durant le refroidissement des roches éruptives :		
Inclusions	551	
Ségrégation	551	
Exemples :		
1. Dykes de pegmatite du Canada exploités pour mica, orthose et quartz	552	
2. Filons de quartz aurifère du Yukon	552	
3. Gisement de corindon ou émeri	552	
4. Veinules d'asbeste	553	
5. Gisements de magnétite titanifère. Diagramme d'une différenciation.	553	1
6. Gisements de fer chromé	554	
7. Gisement de magnétite de Blagodot	554	2
8. Gisement de pyrrhotine nickelifère de Menkjar (Norvège)	554	3
9. Gisement de pyrrhotine nickelifère de Sudbury	554	
10. Gisement de molybdénite du Maine	556	
11. Gisement de diamants du Cap	556	4
Influence de la profondeur sur la richesse	557	
III. Gisements pneumatolytiques ou de sublimation :		
Roches éruptives	558	
Sublimation :		
A. Amas métamorphiques de contact. Exemples :		
1. Gisements du Banat (Hongrie)	559	5
2. Gisement de Rio Tinto	560	6
Influence de la profondeur sur la richesse	560	7

	PAGES	FIGURES
B. Filons pneumatolytiques ou de sublimation.		
Exemples :		
1. Filons de cassitérite des Cornouailles et du Devon	562	8 et 9
Influence de la profondeur sur la richesse		
2. Filon de cryolite	564	
3. Filon de fluorine	565	
IV. Gisements formés par les eaux magmatiques	566	
Rôle de l'osmose	566	
A. Filons :		
a) Filons proprement dits.	567	
Exemples :		
1. Filons de Rico (Colorado)	568	10-11-12
2. Filons de Przibram (Autriche).	570	13-14-15
3. Filons de barytine de Fleurus	574	
4. Filon de carbonate de fer	574	
Quelques mots sur la théorie de la formation des filons.	574	16-17-18
Influence de la profondeur sur la richesse.		
b) Filons-couches	578	
Exemple : Passagem (Minas Geraes, Brésil)	578	19
Variété : Filons de selles et filons de bassins	579	
Exemple : Gisement de quartz aurifère de Bendigo (Australie)	579	20-21
Influence de la profondeur sur la richesse	579	
B. Gisements hydrothermaux dans les roches stratiformes	581	
Exemples :		
1. Gisement de Schwarzenberg (Saxe)	582	22
2. Couches de grès et de conglomérats avec cuivre natif du Lac supérieur	582	23
3. Couches de conglomérat aurifère du Rand	583	24-25
Influence de la profondeur sur la richesse	584	
C. Amas d'imprégnation dans les roches éruptives :		
Exemple : Amas de cinabre de Vallalta (Italie)	585	26
Influence de la profondeur sur la richesse	585	

	PAGES	FIGURES
V. Gisements de remaniement formés par les eaux météoriques seules :		
Nature des eaux météoriques	587	
A. Gisements formés près de la surface :		
Niveau hydrostatique. Zone vadose	587	
Chapeau de fer ou gossan.	588	
Exemples :		
1. Amas du Mont Lyell (Tasmanie)	588	
2. Placer <i>in situ</i> , latérite, éluvion	589	27
3. Filons de cassitérite de Cornouailles et du Devon	589	
4. Filons de blende et chapeau de calamine	589	
5. Filons de galène et chapeau de cérusite	590	
6. Kaolinisation du granite	590	
7. Couches de bauxite	590	
8. Couches de terres réfractaires	590	
9. Filons d'alunite de la Tolfa	590	
10. Minerai de fer de Michigan	591	28
11. Poches de phosphate riche de Ciplý	592	29
12. Gisements d'asphalte	593	
Phénomènes d'enrichissement secondaires dans la zone vadose :		
a) Or	593	
b) Cuivre : Enrichissement secondaire des sulfures	594	30
Hauteur de la zone	596	31
Exemples :		
1. Filons du Tennessee	598	32
2. Amas de Monte Catini	599	33
3. Filon de Mystery Pride.	599	34
c) Argent : Filons du Mexique	600	
B. Gisements formés dans la profondeur	601	
Exemples :		
1. Amas de Leadville (Colorado)	602	35
2. Amas de minerai de manganèse de Las Cabesses (Ariège)	604	36
Extension du rôle des eaux météoriques aux grandes profondeurs	605	37
C. Gisements formés à la surface.	607	
a) Amas superficiels : Minerais des prairies	607	

	PAGES	FIGURES
b) Dépôts détritiques, alluvions, placers :		
1. Or : Placer de ravin, placer de chenal, placer de plaine, placer de terrasses, placer glaciaire, placers anciens, placers souterrains, placer de plage, placer fossile . . .	608	38-39-40
2. Etain : Alluvions de cassitérite de Bangka	612	41
3. Platine	613	
4. Placers de diamants du Brésil	613	
5. Placers de rubis et de saphirs dans l'Inde	613	
6. Placers de rivière, de monazite	613	
7. Placer de magnétite	613	
Influence de la profondeur sur la richesse	614	
c) Sédiments dans les lacs et les mers	614	
Importance de l'érosion	614	
Modes de précipitation : mécanique, chimique, organique	614	
Exemples : Calcaire, dolomie, sel, gypse, craie, craie phosphatée, sels métalliques	615	
Métamorphisme	617	
Exemples :		
1. Schistes bitumineux cuprifères du Mansfeld	617	42
2. Gisement de pétrole	618	43
3. Gisements de tourbe, lignite, charbon, etc.	619	44-45-46 47-48
4. Gisement de soufre d'Italie (solfatares)	622	
Influence de la profondeur sur la richesse	622	
VI. Gisements dynamo-métamorphiques	623	
Exemple :		
1. Couches de graphite des Alpes	623	
2. Ardoises dans les terrains primaires	623	
3. Gisements de magnésite	623	
4. Gisement de franklinite de New-Jersey	623	
Conclusions	624	

L'ELECTRICITÉ DANS LES MINES

Essais effectués dans la galerie d'expériences
de Gelsenkirchen-Bismarck sur la sécurité des machines et
appareils électriques dans les atmosphères
explosibles des mines

PAR

M. LE BERGASSESSOR BEYLING

Un important et remarquable mémoire vient de paraître dans la publication *Gbüchlein* (1906, n° 1 à 13) (1), sur les essais dirigés par M. le Bergassessor Beyling dans la galerie d'expériences de Gelsenkirchen-Bismarck et exécutés au cours des années 1903, 1904 et 1905.

Ces essais, qui ont été conduits avec une science et une méthode auxquelles il convient tout d'abord de rendre hommage, ont permis de déterminer les dispositifs dont il convient de munir les moteurs électriques et leur appareillage pour pouvoir fonctionner, avec sécurité, dans les endroits des mines où des atmosphères explosibles peuvent se produire.

M. le Bergassessor Beyling et ses collaborateurs se sont basés, pour arriver à ce résultat important pour l'exploitation des mines, sur des expériences nouvelles qu'ils ont organisées en vue de mettre en lumière les manifestations physiques des explosions de grisou se produisant dans des espaces clos ou dans des espaces d'un certain volume incomplètement fermés, ou bien encore pourvus d'ouvertures munies de toiles métalliques; ces expériences ont notamment fait reconnaître des faits nouveaux qui sont en opposition avec nombre d'idées admises communément quant aux inflammations des atmosphères grisouteuses. Et, à ce titre, malgré le caractère un peu spécial du mémoire dont il s'agit, ce travail doit être étudié par tous ceux qui s'intéressent à la question du grisou.

(1) Publié en brochure (de 90 pages et 137 figures) par le *Verein für die Bergbauischen Interessen im oberbergambezirk Dortmund (Eisen, Ruhr)*. — Prix : 2 marks.