

CHAPITRE VII

FILONS MÉTALLIFÈRES. PHÉNOMÈNES
OROGÉNIQUES

§ 1

FILONS MÉTALLIFÈRES.

Définition des gîtes métallifères. — On sait que, de nos jours, les manifestations volcaniques sont habituellement suivies par des dégagements solfataris et thermominéraux, qui donnent lieu, dans leurs canaux d'ascension, au dépôt de diverses substances. C'est à des émanations du même genre, survenues à la suite des anciennes périodes éruptives, qu'est due la formation de la plupart des *gîtes métallifères*. Leur allure ordinaire est celle de *filons*, c'est-à-dire de fentes ouvertes à travers les terrains de l'écorce terrestre et remplies après coup par des *minerais métalliques*, le plus souvent des *sulfures*, associés à des gangues pierreuses.

Formation des filons. — Les fentes où s'établissent les filons métallifères sont généralement très inclinées et voisines de la verticale. Elles résultent des efforts de tension et surtout de *torsion*, auxquels les parties les plus résistantes de l'écorce ont été soumises lors de la formation des montagnes.

Toutes les fois que ces fentes se sont produites dans des roches suffisamment solides, elles sont restées assez ouvertes pour permettre la lente circulation, à la fois des eaux d'infiltration venant de la surface, et des eaux chaudes ascendantes venant de la profondeur. Ces dernières entraînaient en général, au milieu de gaz chlorurés, sulfurés et hydrocarbonés, empruntés au réservoir interne, des sulfures alcalins et, à la faveur de ceux-ci, divers sulfures métalliques. De plus, elles dissolvaient sur leur passage, à l'état de silicates et de carbonates, une partie des éléments des roches qu'elles traversaient. Près du

jour, la pression et la température étant moins élevées, il se produisait, sous des influences à la fois physiques, chimiques et électriques, des réactions qui amenaient le dépôt, sur les parois des fentes, soit par évaporation, soit par précipitation, de substances concrétionnées ou cristallisées. Partout où l'air extérieur n'avait pas accès, le dépôt se faisait au sein d'un milieu réducteur et il se formait, avec les gangues, des *sulfures métalliques cristallisés*. Mais plus haut, les réactions se compliquaient par le mélange des eaux ascendantes avec les eaux froides superficielles, ces dernières amenant avec elles de l'air et diverses substances dissoutes dans la traversée des roches, enfin, si les fentes débouchaient sous la mer, des sels, chlorures, bromures, sulfates, etc. Aussi trouve-t-on la partie supérieure des filons notablement *oxydée*. La *limonite* ou peroxyde de fer hydraté y domine, d'où le nom de *chapeau de fer* qu'on lui donne. Souvent aussi on y rencontre des métaux natifs, produits par double décomposition, sous des influences analogues à celles qui sont utilisées dans la galvanoplastie.

Minerais d'étain. — Les minerais d'étain ont toujours accompagné, plutôt que suivi, la sortie des *granulites* à mica blanc et tourmaline. Ils remplissent moins des fentes définies que des réseaux de veines ou de veinules, formant comme une auréole à la périphérie des noyaux granulitiques (Cornouailles, Bretagne, Limousin). Sous quelque forme que l'étain soit arrivé de la profondeur, la facilité avec laquelle il s'oxyde a déterminé son dépôt sous la forme d'*étain oxydé* ou *cassitérite*, disséminé en grains ou en cristaux bruns dans le *quartz* laiteux, souvent avec de l'émeraude et de l'apatite (phosphate de chaux).

Minerais d'or. — L'or paraît être venu à l'état de sulfure, en compagnie de la *pyrite de fer*, au moment de l'éruption de roches *dioritiques*. Mais les dissolutions métallifères, qui déposaient dans la profondeur, avec du *quartz*, une pyrite plus ou moins chargée d'or, ont dû, en arrivant près de la surface, abandonner le fer à l'état d'oxyde, tandis que l'or *natif* se précipitait, en grains ou en *pépites*, au sein du quartz. Les têtes des filons ayant été enlevées par érosion, l'or, grâce à sa densité et à son inaltérabilité, est souvent resté intact parmi les

alluvions. Ainsi se sont formés les gisements riches ou *placers* de Californie et d'Australie.

Dans le Gard, la venue de l'or est antérieure au terrain houiller, dont les conglomérats contiennent du quartz aurifère. Mais il y a eu aussi une venue d'or moderne, comme celle qui a formé au Nevada le célèbre filon dit *Comstock lode*.

Minerais de cuivre. — C'est aussi avec des roches basiques et spécialement avec des *mélaphyres* ou des *diorites*, que les émanations de *cuivre* se sont fait jour. Elles ont été particulièrement abondantes aux époques permienne et triasique, donnant naissance à des dépôts de sulfures (cuivre pyriteux, cuivre panaché), parfois d'arséniures et d'antimoniures (cuivre gris), transformés près de la surface en carbonate bleu (azurite) ou carbonate vert (malachite). Parfois les sels de cuivre se sont épanchés au milieu des sédiments contemporains, comme dans le Mansfeld, où le cuivre pyriteux, argentifère, imprègne un

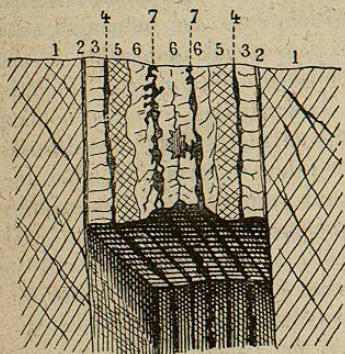


Fig. 127. — Coupe d'un filon concrétionné en exploitation. — 1,1, épontes du filon ou roche encaissante; 2,2, parois argileuses dites *salbandes*; 3, quartz; 4, pyrite de fer; 5, calcite; 6, quartz et barytine; 7, blende et galène.

schiste bitumineux permien, riche en poissons, et dans le Var, où les carbonates de cuivre servent de ciment à un poudingue triasique.

Minerais de plomb argentifère et de zinc. — Les gisements de minerais de plomb, généralement argentifères et très souvent associés aux minerais de zinc, parfois à ceux de cuivre, réalisent mieux que tous les autres le type des filons *concrétionnés* ou *d'incrustation* (fig. 127), c'est-à-dire formés par le dépôt régu-

lier, sur les parois d'une fente, de bandes alternatives de gangues et de minerais, se répétant symétriquement à droite et à gauche.
Les minerais sont : la *galène* ou sulfure de plomb, la *blende* ou sulfure de zinc, le *cuivre pyriteux* ou sulfure de fer et de

cuivre, quelquefois l'*argent rouge*, combinaison de l'argent avec le soufre et l'antimoine ou l'arsenic. Les gangues dominantes sont le quartz, la calcite ou carbonate de chaux, le carbonate de fer, la barytine ou sulfate de baryte et quelquefois la fluorine ou fluorure de calcium.

Pour plusieurs filons plombifères, on a la preuve que leur remplissage s'est opéré à l'époque du trias ou à celle du lias inférieur.

Richesse des filons. Gites calaminaires. — Il s'en faut de beaucoup que la richesse d'un filon soit la même dans toutes ses parties. Les circonstances de cette distribution sont assez capricieuses, ce qui se comprend si l'on réfléchit à la nature des réactions multiples qui ont dû influencer le dépôt des minerais. On constate, dans bien des cas, un rapport étroit entre la richesse d'un filon et la qualité des roches qui forment les parois ou *épontes*. De la sorte, si un filon traverse successivement plusieurs terrains, sa richesse ne demeure pas constante. On se rend aisément compte de ce résultat en remarquant, d'abord que le mode de formation des fentes et leur bonne conservation, si nécessaire à la circulation des dissolutions métallifères, dépendent au plus haut degré de l'espèce des roches; ensuite que les réactions chimiques qui provoquent le dépôt des minerais ne peuvent manquer d'être influencées, soit par la composition, soit par l'état physique et la conductibilité des terrains encaissants.

Par exemple, lorsqu'un filon de blende passe d'un schiste dans un calcaire, il s'élargit brusquement et se change en un amas irrégulier, parfois très puissant, de carbonate et de silicate de zinc (*calamine*). Il est évident que les eaux, qui traversaient sans pouvoir l'attaquer la masse schisteuse, ont dissous et corrodé de proche en proche le calcaire, dont les fissures les mettaient en outre en contact avec des éléments oxydants. On donne le nom de *gites calaminaires* à ces filons élargis, dont il existe de beaux exemples à la Vieille-Montagne ainsi qu'au Laurium. On peut penser que l'imperméabilité des schistes, en obligeant les eaux à s'étaler à droite et à gauche dans le calcaire, a beaucoup contribué à cet élargissement.

§ 2

PHÉNOMÈNES OROGÉNIQUES.

Principe des phénomènes. — L'étude des périodes géologiques successives nous a montré qu'à bien des reprises, des modifications plus ou moins considérables s'étaient produites dans la distribution relative des terres et des mers. De tels changements accusent, de la part de l'écorce terrestre, une mobilité dont la cause semble facile à indiquer, si l'on accepte l'hypothèse de la masse ignée interne. En effet, avec le temps, le noyau igné doit se contracter, parce qu'il perd de la chaleur et qu'une partie de sa substance est rejetée au dehors par les éruptions. Mais si épaisse que puisse être la croûte solide, il est vraisemblable qu'elle ne correspond qu'à une petite fraction du rayon terrestre, dont la longueur dépasse 6000 kilomètres. Elle garde donc, dans l'ensemble, assez de flexibilité pour avoir besoin d'être soutenue, et lorsque son support vient à faiblir, il faut qu'elle se déforme en conséquence.

Allure générale des déformations. — Cette déformation, comme l'a indiqué Élie de Beaumont, doit être analogue à celle qui se produit dans une étoffe primitivement bien tendue et dont une cause quelconque diminue la tension.

Dans ce cas, l'excès d'ampleur détermine la formation d'un *rempli*, c'est-à-dire d'une juxtaposition de deux rides, l'une saillante, l'autre rentrante, dont la première tend à se renverser sur la seconde. Il y a donc à la fois *soulevement* d'une partie de l'étoffe et *affaissement* de la portion immédiatement contiguë.

Telle paraît bien être, en effet, l'allure générale des dislocations terrestres. Presque partout on observe que les plus fortes lignes de relief, préparées par des ondulations successivement croissantes, occupent une situation littorale, regardant par leur flanc le plus abrupt une dépression océanique, qui reproduit la même disposition en sens inverse (fig. 128). Si donc les déformations de l'écorce résultent d'un mouvement général *centripète*, provoqué par la contraction progressive du noyau fluide, il n'en est pas moins vrai que les montagnes représentent des

portions de l'écorce *soulevées* relativement au niveau moyen primitif, tandis que les dépressions océaniques correspondent à des portions *affaissées*. Le tout résulte de mouvements *latéraux de refoulement*, qui peuvent avoir des *composantes* à la fois suivant l'*horizontale* et suivant la *verticale*, et dont les effets déterminent les traits principaux du relief terrestre, en premier

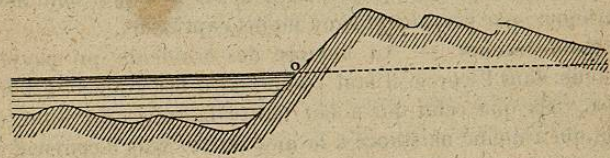


Fig. 128. — Allure générale des déformations de l'écorce.

lieu les *montagnes*, ce qui permet de les ranger sous la dénomination générale de *phénomènes orogéniques*. Chaque modification de ce relief influe sur le jeu des puissances extérieures; mais ces dernières se bornent à découper, d'une manière plus ou moins capricieuse, les parties de l'écorce que les mouvements orogéniques ont fait surgir en les disloquant.

Formes diverses des dislocations. — La tendance à la déformation, dont le principe vient d'être indiqué, produit des effets très différents, suivant l'état particulier des terrains qui en subissent l'influence. Les massifs d'ancienne consolidation, trop rigides pour se plisser, tels que les premiers îlots de terrain primitif, se brisent en compartiments, limités par des *failles*, le long desquelles ces compartiments *jouent* les uns par rapport aux autres, comme on le voit dans le Morvan et le Plateau Central. Des systèmes épais de sédiments solides, lorsque le refoulement ne les pousse pas contre un noyau résistant, se soulèvent en masse (parfois en plusieurs parties limitées par des cassures) et font naître de hauts plateaux à stratification régulière, comme ceux où l'érosion a creusé les célèbres gorges ou *cañons* du Colorado. Si des assises sédimentaires relativement plastiques sont refoulées contre un obstacle rigide, comme l'ont été les couches secondaires et tertiaires du Jura contre le massif souterrain de terrain primitif qui relie le Plateau Central aux Vosges, elles se plissent en ondulations

parallèles, les unes saillantes ou *anticlinales*, les autres rentrantes ou *synclinales*, et qui tendent parfois à se renverser du côté d'où vient la poussée. Enfin lorsque, comme dans les Alpes, le refoulement a été assez énergique pour faire arriver au jour le *stratum* primitif, les cassures qui l'accidentent se répercutent, sur les lambeaux de son ancienne couverture sédimentaire, soit par des *failles*, soit, si les couches sont assez plastiques, par des plis plus ou moins capricieux.

Effondrements. — Au nombre des accidents qui peuvent survenir dans l'écorce, il faut comprendre les grands *effondrements*, tels que celui qui a fait naître la vallée du Rhin, ou celui qui a donné naissance à la mer Morte. Mais il convient de remarquer que la plupart de ces accidents résultent de la chute d'un compartiment de l'écorce, situé précisément à la *clef d'une voûte* en voie de formation. Ainsi les Vosges et la Forêt Noire constituaient un massif homogène soulevé en masse et dont la partie culminante s'est rompue sous l'effort qu'elle subissait, laissant s'écrouler un *voussoir*, dont la chute a fait naître la vallée du Rhin. De même, la mer Morte occupe l'emplacement d'une faille très nette, survenue au sommet d'un pli *anticlinal* remarquablement rectiligne, qui comprend avec cette mer la vallée du Jourdain. La faille se poursuit en se coudant par les coupures du Wadi-Arabah et du golfe d'Akaba et atteint la mer Rouge, dont elle détermine l'alignement jusqu'à Massouah, pour se prolonger ensuite sous la forme d'une falaise qui fait la limite orientale de l'Abyssinie. Ainsi les effondrements alignés, ceux qui ne dépendent pas immédiatement de l'action volcanique, rentrent dans la formule générale du phénomène orogénique. Chacun d'eux indique un *maximum de tension*, que l'écorce solide n'a pu supporter sans se rompre, en laissant s'écrouler le sommet de la voûte rompue.

Exemples de dislocations. — Comme exemple bien typique d'une dislocation, où les plissements se combinent avec des failles, on peut citer l'accident qui a déterminé la situation actuelle du terrain houiller de la bande franco-belge. Au début du silurien, les couches cambriennes furent redressées et formèrent dans le Condros une arête, par laquelle le bassin de Dinant se trouva séparé de celui de Namur. Après ce mouve-

ment, dit *ridement de l'Ardenne*, les sédiments dévoniens et carbonifères se déposèrent dans les deux dépressions. Puis, avant la période triasique, eut lieu le *ridement du Hainaut*. Les couches du bassin de Namur, déjà transgressives sur le cambrien, furent d'abord rebourbées en un pli anticlinal (fig. 129), dont



Fig. 129.

le versant septentrional, devenu bientôt plus raide que l'autre (fig. 130), finit par se renverser (fig. 131) sous l'effort de la



Fig. 130.

poussée. Le refoulement continuant à se faire sentir, la poussée latérale ne tarda pas à devenir assez forte pour déterminer,

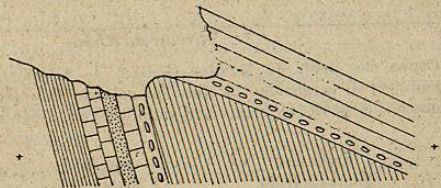


Fig. 131.

le long de la jonction avec le cambrien, une faille très oblique, sur le plan de laquelle la lèvre du midi glissa de bas en haut, de manière à venir chevaucher par-dessus la tranche des couches de l'autre versant (fig. 132). La compression était si grande que les couches renversées furent plus d'une fois repliées en nombreux zigzags, en même temps qu'un lambeau, détaché de l'une des deux lèvres et dit *lambeau de poussée*, était entraîné dans le mouvement d'ascension de la lèvre méridionale.

Il est des cas où les circonstances de la dislocation, en faisant

tomber des *paquets* entiers de couches entre deux cassures, ont fini par donner lieu aux apparences les plus compliquées,

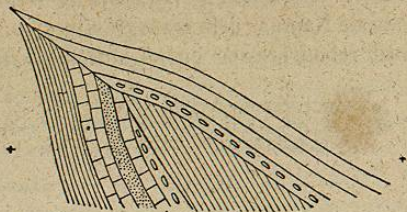


Fig. 132.

comme le montrent les figures 133 et 134. Parfois la complication est telle, que la tâche du stratigraphe devient aussi ardue

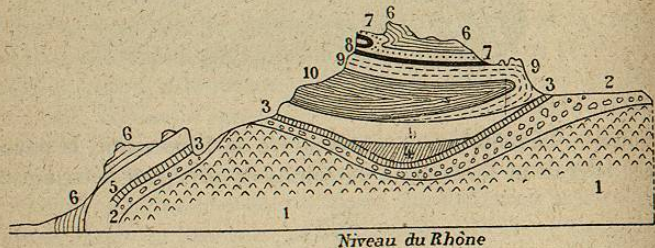


Fig. 133. — Coupe des Dents de Morcles (Suisse). — 1, schistes cristallins; 2, terrain houiller; 3, cargneules; 4, lias; 5, calcaire jurassique; 6, néocomien; 7, urgonien; 8, gault; 9, terrain nummulitique; 10, flysch en pli couché.

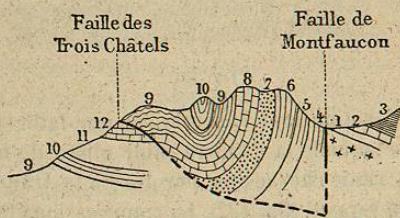


Fig. 134. — Coupe d'une dislocation des environs de Besançon.
1, trias; 2, 3, lias; 4 à 12, couches oolithiques.

que le serait celle d'un architecte, chargé de numérotter, conformément à leur situation originelle, les matériaux d'un édifice effondré.

Dans les régions fortement plissées, il peut arriver qu'une couche résistante, telle qu'un calcaire, ayant été poussée, en se brisant, à travers des sédiments beaucoup plus plastiques, par exemple des argiles et des schistes, ces derniers soient plus tard enlevés par l'érosion. Alors on retrouve en saillie, isolés à l'état de petits récifs, pareils à d'énormes blocs erratiques, et dans toutes les inclinaisons imaginables, les lambeaux de strates calcaires, qui paraissent reposer, n'importe comment, sur des terrains d'âge plus récent. Tel est le cas des célèbres *Klippen* ou récifs des Carpathes.

Importance des directions. — L'effort de refoulement vient, en général, d'une *direction* déterminée et tend à se traduire par des accidents *parallèles*. Mais à la rencontre d'un obstacle, cette direction peut être sensiblement infléchie. C'est ainsi que les plis du Jura, dirigés du sud au nord dans la partie méridionale, parce que tel est l'alignement du bord oriental du Plateau Central, se courbent progressivement au nord-est en Franche-Comté, conformément au parcours du massif souterrain dont l'ilot granitique de la Serre atteste l'existence, pour prendre ensuite, le long du bord méridional des Vosges et de la Forêt Noire, une direction est-ouest. Si donc les alignements des chaînons présentent, dans l'étude des montagnes, une incontestable importance, il ne faut pas oublier, d'une part, que des directions multiples peuvent correspondre à un même effort; d'autre part, qu'une même direction peut se reproduire à des époques différentes.

Age relatif des dislocations. — L'*âge relatif* des dislocations est d'une appréciation souvent fort délicate. Naturellement tout accident orogénique est plus récent que les terrains dont il a dérangé la stratification. Mais comme beaucoup de massifs ont subi l'influence d'efforts successifs, il peut être fort malaisé de démêler ce qui revient à chacun d'eux. Quand il s'agit de cassures, on fait intervenir utilement la considération des *rejets*. En effet, une cassure, avec ou sans dénivellation des parois, s'étant produite dans un terrain, si plus tard une nouvelle fracture survient, elle entraînera, en général, un déplacement relatif des deux parties de la cassure précédente qu'elle traverse, et dont la trace sur le sol cessera ainsi d'être continue.

Le moyen le plus sûr de déterminer l'âge relatif des accidents du sol serait de reconstituer, à toute époque, les rivages maritimes, nécessairement influencés par chaque nouvelle dislocation. Seulement cette tâche est difficile à remplir, parce que les sédiments littoraux, les seuls sur lesquels la détermination puisse être fondée, ont souvent disparu sous l'effort des érosions. L'état de morcellement des terrains est extrême dans les districts montagneux et il en est beaucoup où l'on ne saurait évaluer à moins de *mille mètres* l'épaisseur de couches que le travail des agents d'érosion a enlevées dans le cours des âges, en profitant des innombrables fractures que les mouvements de l'écorce y avaient fait naître.

Principales époques de dislocations. — Bien que les changements de la géographie terrestre aient été continus, il en est beaucoup, par exemple ceux des temps secondaires, qui se sont produits sans amener de grands troubles dans l'écorce et sans entraîner de mouvements qu'on puisse qualifier d'orogéniques. Les perturbations de l'équilibre de la croûte ont été particulièrement énergiques pendant l'ère primaire, et aussi depuis la fin de l'éocène jusqu'aux débuts du pliocène. Aux mouvements primaires se rapportent les anciens ridements de l'Armorique et de l'Ardenne. Plus tard, à l'époque du ridement du Hainaut, des refoulements d'une rare puissance ont affecté le terrain houiller inférieur, non seulement en Europe, mais en Amérique, créant dans les massifs anciens les dépressions où devaient se former les dépôts du terrain houiller supérieur. Un dernier écho de ces efforts, survenant avec le permien supérieur ou le trias, a bouleversé la stratification des bassins houillers du Plateau Central. Si ces mouvements ont fait naître en Europe des lignes de relief de quelque importance, du moins les érosions des périodes subséquentes n'en ont rien laissé subsister.

Au commencement de l'oligocène se sont dressées dans les airs la chaîne des Pyrénées et celle des Apennins. Puis les grands mouvements ont repris avec l'époque helvétienne, où les pressions latérales paraissent avoir atteint leur maximum d'intensité, se résolvant dans le soulèvement du Jura, des Alpes, des Carpathes et de l'Himalaya.

Chacun de ces mouvements avait d'ailleurs été préparé de longue date et il n'est guère de lignes de relief où l'on ne puisse reconnaître la trace d'efforts successifs, produits à des époques parfois très différentes.

CHAPITRE VIII

CONSIDÉRATIONS GÉOGÉNIQUES

§ 1

CAUSES DES VARIATIONS DE LA CHALEUR EXTERNE.

Principe du phénomène paléothermal. — La conception de la fluidité primitive de notre planète, entraînant comme conséquence la conservation, jusqu'à nos jours, d'une masse ignée interne, explique d'une manière satisfaisante, avec la forme actuelle du globe, la constitution de l'écorce ainsi que le jeu des phénomènes éruptifs et orogéniques. Mais il est une chose dont cette hypothèse ne suffit pas à rendre compte, c'est l'uniformité climatérique des premiers âges géologiques.

S'il est un fait que la paléontologie, et spécialement la branche de cette science qui s'occupe du monde végétal, ait bien mis en évidence, c'est assurément la diminution progressive de la chaleur dans les hautes latitudes de notre globe. Nous avons vu que, pendant toute la durée des temps primaires, un climat semblable à celui des tropiques paraissait avoir régné depuis l'équateur jusqu'aux pôles, et c'est à peine si, vers la moitié de l'ère secondaire, a commencé à se manifester le rétrécissement progressif de la zone tropicale. Au milieu de l'ère tertiaire, le Groenland nourrissait encore une végétation semblable à celle qui, de nos jours, caractérise la Louisiane, et les mêmes plantes florissaient au Spitzberg, ainsi que dans la presqu'île d'Alaska. L'apparition des glaces polaires a donc