

puisqu'il s'agit, non plus de ruissellements passagers sur les bords d'un lac, mais de masses d'eau débouchant dans la mer et y stratifiant leurs alluvions comme dans le delta d'un grand fleuve. On conçoit que ces alluvions, plus ou moins étalées par les vagues, aient acquis à la fois moins d'épaisseur et plus d'étendue; que les coquilles marines y soient de temps en temps présentes; que d'autres fois elles laissent la place à des mollusques d'eau saumâtre (*Anthracosia*, *Anthracomya*), analogues aux moules de rivière; enfin que jamais des fossiles terrestres ou d'eau douce ne soient associés aux couches de houille, ce qui n'aurait pas manqué de se produire, si la houille résultait de la transformation sur place d'une végétation tourbeuse, comme on l'a longtemps admis. D'ailleurs, par le progrès naturel du delta dans une mer profonde, combiné avec un tassement graduel, les couches devaient finir par se superposer les unes aux autres en nombre considérable. Il n'est donc pas nécessaire, pour expliquer cette superposition, d'admettre une série indéfinie d'affaissements, hypothèse inconciliable, du reste, avec le fait dominant de la période houillère, qui est le gain progressif de la terre ferme sur la mer.

Ajoutons que si la plupart des couches de houille ont été formées par flottage, il n'est pas impossible que quelques-unes d'entre elles résultent de l'enfouissement d'une végétation de nature tropicale, établie à la surface des atterrissements d'un delta, pendant une émergence momentanée. Ainsi s'expliqueraient certains cas où l'on a cru reconnaître, avec certitude, la présence de racines en place dans les argiles servant immédiatement de base à la houille.

Idée générale du phénomène houiller. — Voici donc l'idée générale qu'il semble permis de se faire du phénomène houiller : sous l'influence d'une température chaude, d'une atmosphère humide et lourde, les continents fraîchement émergés étaient revêtus d'une végétation luxuriante, dont aucune intempérie ne venait jamais interrompre le développement. Le sol se garnissait, au fur et à mesure de la chute des branches et des tiges, d'une abondante couche de débris végétaux, les uns à peine altérés, d'autres presque totalement décomposés et laissant se dégager les principes gras et féculents dont ils

étaient chargés. De temps à autre, des pluies violentes s'abattaient sur le sol, entraînant, soit à la mer, soit dans les dépressions lacustres, les arbres déracinés, les fougères arrachées, la couche de détritiques végétaux qui en garnissait le pied et jusqu'au terrain lui-même. Une fois submergés, tous ces débris se séparaient par ordre de densités, les végétaux se tenant toujours au sommet. Mais promptement enfouie sous un nouvel apport d'alluvions, la couche végétale n'arrivait pas à la surface et achevait, à l'abri de l'air, sa transformation, consistant en une oxydation lente de l'hydrogène et, par suite, un enrichissement progressif en carbone.

D'après cela, on comprend sans peine que les diverses couches de houille puissent être très inégalement riches en principes volatils et qu'il y ait des houilles *maigres*, très pauvres en produits bitumineux, et des houilles *grasses* qui en sont abondamment pourvues. Il suffit de se rappeler que les matières résineuses et grasses qu'on retire des feuilles donnent, par la chaleur et la pression, un produit analogue au bitume. Dès lors il n'est pas indifférent qu'une couche de houille soit constituée d'écorces plutôt que de feuilles, ni que telle famille végétale ait pris plus de part que telle autre à la formation de l'amas, ni enfin que la couche de détritiques ait subi, avant son entraînement, une décomposition plus ou moins complète. Ce que les mineurs appellent le *fusain*, ou charbon mat tachant les doigts, si fréquent dans beaucoup de houilles, représente des fragments à demi pourris de tiges ou de rameaux, qui étaient tombés au milieu des écorces et des feuilles non encore décomposées.

Il convient de dire aussi que certaines houilles ont subi, par suite de la chaleur développée dans les mouvements du sol, une distillation partielle, qui a pu les priver de leurs principes volatils et les transformer en *anthracite*.

Minerais de fer du terrain houiller. — Le *minerai de fer* se montre très souvent subordonné à la houille. En Angleterre et en Écosse, de nombreux lits de *fer carbonaté*, dit *black band*, alternent avec les schistes houillers. Il en est de même dans les schistes permien du bassin de la Sarre, à Lebach, où le fer carbonaté tend à se concentrer en rognons aplatis, dans l'inté-

rieur desquels on trouve des restes de reptiles, notamment d'*Archegosaurus*. En Amérique, ce sont souvent des feuilles de fougères qui occupent le centre de rognons semblables, et tous les détails de la nervation y sont conservés avec une netteté merveilleuse. Le minerai exploité dans le bassin d'Alais, à Pal-mesalade, est aussi carbonaté et subordonné à une assise de grès et de poudingues, séparant deux faisceaux houillers.

Le fer carbonaté représente le premier état d'oxydation du fer. Il ne peut se produire que dans les milieux où dominent les influences réductrices, et la moindre oxydation le change en *limonite* ou peroxyde hydraté. La source des actions réduc-trices qui ont présidé à sa formation est d'ailleurs facile à reconnaître dans la masse de menus débris organiques con-tenus au sein des schistes qui encaissent le carbonate. Par l'action de ces débris, suffisante pour absorber tout l'oxygène disponible, le fer de la houille est demeuré, tantôt à l'état de carbonate de protoxyde, tantôt à l'état de *pyrite* ou *bisulfure*, dont les lamelles, d'un jaune de laiton, brillent si souvent sur le fond noir de la plupart des houilles.

§ 7

ÉRUPTIONS DE L'ÈRE PRIMAIRE

Caractères généraux des éruptions primaires. — Pendant toute la durée de l'ère primaire, l'activité interne paraît s'être donné carrière par une série en quelque sorte continue de manifestations. Tantôt les roches éruptives sont arrivées jus-qu'à la surface, s'épanchant en nappes sous-marines, ou même en coulées à l'air libre, accompagnées de projections et de tufs, dont quelques-uns peuvent être d'anciennes cinérites; tantôt elles ont traversé, en filons plus ou moins puissants, une épaisse série de terrains; tantôt enfin elles se sont bornées à remplir des dômes de soulèvement, se logeant dans l'axe de *plis anti-clinaux*, c'est-à-dire de voûtes allongées, sans parvenir jusqu'au jour.

Dans les pays depuis très longtemps émergés, comme la Bre-tagne et surtout le Plateau Central, l'érosion, poursuivie pen-

dant une suite incalculable de siècles, a fini par mettre à découvert ces roches de cristallisation profonde, qui sont généralement des *granites*, en faisant disparaître la tête des plis qui les recouvraient. Mais ce travail n'a pu se poursuivre sans amener la destruction d'une grande épaisseur de roches de surface, parmi lesquelles, peut-être, se trouvait plus d'une coulée éruptive, dont toute trace aurait ainsi disparu, si l'on n'en retrouvait parfois quelques vestiges parmi les conglomé-rats formés aux époques géologiques qui ont vu s'accomplir ces destructions.

D'autre part, il est des régions, comme le Trégorrois, l'île de Jersey, le pays de Galles, etc., où l'on peut encore observer, en place, des roches très anciennes d'épanchement superficiel et même des tufs, ainsi que des produits de projection datant presque de l'aurore des temps sédimentaires.

Nous nous bornerons ici à mentionner quelques-uns des principaux types éruptifs de l'Europe occidentale, en les rap-portant, autant que possible, aux périodes pendant lesquelles a dû avoir lieu la sortie des roches.

Éruptions cambriennes. — Des roches éruptives d'âge cam-brien s'observent dans le nord du pays de Galles, sous la forme de *porphyres pétrosiliceux*, en coulées au milieu des schistes qui constituent la base du système. D'ailleurs ces porphyres se retrouvent en cailloux roulés, dans le conglomérat qui sert de base aux ardoises violettes de Llanberis, de telle sorte que l'âge cambrien, et même cambrien inférieur, des éruptions ne peut faire l'objet d'aucun doute.

Un centre encore plus important existe dans l'île de Jersey. Là encore, un conglomérat, de l'âge du poudingue pourpré du Cotentin, renferme des galets des roches éruptives qui traversent les phyllades sous-jacents. Mais la série en est bien plus variée; car elle comprend du *granite* proprement dit, du *granite à amphibole* et de la *syénite*, des *diorites*, de la *pegmatite*, en fait de roches de profondeur; puis, formant des nappes et des cou-lées, des *porphyrites*, des *porphyres pétrosiliceux* et des *granulo-phyres*, accompagnés de brèches et de tufs de projection.

Une série très analogue existe sur la côte de Bretagne, dans le Trégorrois.

Les phyllades cambriens des environs de Granville renferment des galets d'un *granite* commun, identique avec celui des îles Chausey. Enfin, dans les schistes cambriens du Cotentin, le *granite* dit de Vire a été injecté en longues bandes, avant la formation des poudingues pourprés. Cette injection a déterminé, dans les schistes encaissants, un métamorphisme qui en a fait des *schistes maclifères*, par développement de petits noyaux et même de cristaux de *macle*. Des faits analogues ont été observés en Alsace et dans bien d'autres contrées.

Éruptions siluriennes. — Le nord du pays de Galles, et spécialement la région du Snowdon, offrent d'incontestables exemples d'éruptions d'âge silurien, représentées par des *porphyres*, des *porphyrites* et des *tufs*, qu'on trouve intercalés au milieu du silurien moyen.

En Bretagne, les assises du silurien supérieur de la baie de Douarnenez présentent de fréquentes intercalations de *diabases*, accompagnées de brèches et de *tufs de projection*. Il est probable qu'il convient de rapprocher de ces nappes les grands filons de la même roche qui traversent le cambrien du Cotentin, et qu'on suit parfois sur plus de 12 kilomètres. La roche, d'un vert foncé, est compacte et fournit des matériaux recherchés pour l'empierrement.

Ce sont aussi des *diabases*, en nappes régulières, qui alternent en Bohême avec les premiers sédiments du silurien supérieur, ceux qui contiennent des graptolithes.

Éruptions dévoniennes et carbonifères. — Parmi les éruptions dont l'âge dévonien est incontestable, on peut citer les coulées de *diabases*, avec *tufs*, qu'on observe dans le Nassau et le Hartz. Il est probable que beaucoup de *pegmatites* et de *granulites à tourmaline*, comme celles de Cornouailles en Angleterre et du Mont Saint-Michel en France, datent de la même époque, bien que leur formation ait pu se poursuivre jusqu'au début de la période anthracifère. C'est à cette dernière phase que doivent être rapportés la plupart des *porphyres quartzifères* ou *granophyres* de France; notamment ceux de la rade de Brest (dont l'éruption a été presque immédiatement suivie par la sortie de filons de *Kersanton*), et les porphyres du Morvan, ainsi que ceux du Plateau Central; car toutes ces roches se retrouvent en

galets dans les conglomérats du terrain houiller supérieur.

Quant au *granite* de Flamanville, qui certainement a métamorphosé le dévonien du Cotentin, son éruption date, ou du dévonien supérieur, ou de l'anthracifère.

Les granites postérieurs au silurien abondent en Bretagne. C'est ainsi que les schistes siluriens à calymènes des Salles de Rohan ont été changés en *schistes maclifères*, contenant de très grands cristaux de *macle*, par l'influence de massifs granitiques ou granulitiques voisins. Un autre de ces massifs a fait subir le même métamorphisme aux schistes anthracifères des environs de Carhaix. Le *granite* qui a produit cette action, celui de Rostrenen, est remarquable par la dimension extraordinaire de ses cristaux de feldspath. Du même âge est le beau *granite porphyroïde* du Huelgoat, qui forme de si pittoresques amoncellements de rochers.

Les *pegmatites* et les *granulites* jouent un rôle important dans le Limousin et le Plateau Central de la France. Ces mêmes roches sont très développées en Angleterre, dans le pays de Cornouailles, où leur fréquente association avec des minerais d'étain leur a fait donner le nom de *granites à étain*. Ce qui distingue ces roches granulitiques, en général dévoniennes ou anthracifères, c'est, avec la présence fréquente de la *tourmaline* (silicate d'alumine avec acide borique), l'abondance du mica blanc d'argent et la présence de divers minéraux contenant du fluor.

Aux époques dont il vient d'être question, il devait y avoir de vrais appareils volcaniques, dont les projections engendraient des *tufs*, tels que les *tufs porphyritiques* du Morvan, subordonnés à la base du permo-carbonifère.

Enfin la période houillère a été souvent marquée par la sortie de *porphyres globulaires* et par celle de roches basiques ou neutres, à texture compacte, de teinte verte foncée, connues sous le nom générique de *trapps*. Beaucoup de ces *trapps* sont des *porphyrites* riches en mica. Quelques-uns sont accompagnés de *tufs* qui ont beaucoup d'analogie avec les *cinérites*.

Éruptions permienes. — Les éruptions ont continué à l'époque permienne. Seulement nous ne connaissons pas, avec certitude, de roches granitiques datant de cette époque. Même,

les *porphyres*, qui forment des coulées très nettes, parfois divisées en prismes, y sont le plus souvent *pétrosiliceux*, comme si la puissance de cristallisation avait été en diminuant avec le temps. Leur sortie a été parfois accompagnée de celle de roches tout à fait vitreuses, comme les *pechsteins* de la Saxe et ceux du Var, ou bien de roches à globules, dites *pyromérides*.

On a la preuve que de nombreuses manifestations thermales et solfatarieuses se sont produites lors du permien inférieur. C'est à cette cause que doit être attribuée la formation des *tufs* argileux violets ou *argilolites* du val d'Ajol, dans les Vosges, tufs à demi sédimentaires, qui contiennent de nombreux restes silicifiés de végétaux, et à côté desquels on observe de grands filons de quartz, tous plus ou moins métallifères.

Les roches basiques de l'époque permienne, notamment les *mélaphyres*, abondent dans le Palatinat; ces roches se rapprochent à bien des égards des basaltes actuels. Plusieurs sont vacuolaires et leurs cavités ont été remplies par divers minéraux, tels que l'agate.

Résumé. — En résumé, l'activité éruptive paraît avoir été à peu près continue pendant toute la durée des temps primaires. D'une manière générale, au moins jusqu'à l'époque houillère, les roches acides prédominent. Leur position est d'ailleurs assez caractéristique. Les granites forment, comme nous l'avons déjà dit, de larges trainées, occupant le plus souvent l'axe de plis convexes ou *anticlinaux*. Ils ont donc dû se solidifier dans la profondeur, sous une pression qui maintenait les dissolvants et à l'abri de toute rapide déperdition de la température. A ces circonstances devraient être attribués, d'abord l'état si cristallin des granites, ensuite l'influence qu'ils ont exercée sur les roches voisines, en y faisant pénétrer peu à peu les gaz et les vapeurs répandus dans leur masse.

Loin d'avoir forcé l'entrée des terrains encaissants en les disloquant, les granites et les roches analogues y ont trouvé leur chemin en les *corrodant*, en quelque sorte, à la manière d'un acide. On peut dire, du reste, que toutes les roches éruptives ont joué, dans les dislocations, un rôle passif, profitant, pour s'y injecter, des cassures ou des rides produites par des phéno-

mènes mécaniques, dont les éruptions étaient généralement la conséquence et non la cause.

Les filons détachés des massifs granitiques ou granulitiques ont toujours un grain plus fin et prennent quelquefois une structure porphyrique, qui accuse deux temps de consolidation. Ces deux temps sont très nettement visibles dans les filons et surtout dans les nappes des divers porphyres, dont les différences doivent tenir à ce que les uns se sont épanchés à l'air libre, tandis que les autres arrivaient au fond de la mer et des lacs. La dernière consolidation ayant été assez rapide, les effets métamorphiques des porphyres sur les roches voisines sont généralement très faibles.

Il convient de remarquer le développement que paraissent avoir pris en Europe, à l'époque du grès rouge permien, les émissions solfatarieuses et thermales. Dans la nature actuelle, ce genre d'émanations signale habituellement la décroissance de l'activité volcanique. Or justement, dans nos pays, les éruptions étaient destinées à cesser, d'une manière à peu près complète, pendant toute l'ère secondaire. Les argilolites et les émissions siliceuses du permien marqueraient donc le déclin d'une activité interne qui allait bientôt s'endormir.

CHAPITRE IV

ÈRE SECONDAIRE

§ 1

GÉNÉRALITÉS SUR L'ÈRE SECONDAIRE

Caractères généraux et divisions de l'ère secondaire. — Le groupe *secondaire* ou *mésozoïque* comprend les formations sédimentaires qui se sont déposées depuis la purification définitive de l'atmosphère terrestre jusqu'au réveil de l'activité interne. Cette dernière, après avoir été particulièrement effi-