

LES LIGNES DIRECTRICES

DE LA GÉOLOGIE DE LA FRANCE (1)

PAR

Marcel Bertrand,

Ingénieur en Chef des Mines
Professeur à l'Ecole supérieure des Mines.

Élie de Beaumont écrivait en 1841 : « Les lignes géologiques qui déterminent les contours des masses minérales, dessinent, en quelque sorte, le squelette d'une contrée, tandis que les lignes hydrographiques ne représentent que les traits purement extérieurs, qui, sur un même visage, varient avec les années. » Et c'est en négligeant ces « traits purement extérieurs » qu'il a donné le premier, dans l'*Introduction à l'Explication de la Carte géologique de la France*, l'exposé magistral des divisions naturelles du sol français et de leur liaison avec la structure géologique du pays. C'est d'abord au centre le « dôme de l'Auvergne » ou, pour mieux dire, l'ensemble du massif montagneux auquel on a donné le nom de Plateau Central : « Tout semble fuir en divergeant de ce centre élevé... Il domine tout ce qui l'entoure, et ses vallées divergentes versent les eaux dans toutes les directions ; les routes s'en échappent en rayonnant comme les rivières qui y prennent leur source. » En avant de ce « pôle de répulsion » est le bassin de Paris, contre-partie en creux du relief central, dont les différentes assises « usées inégalement par les révolutions du globe, forment comme une série de moulures concentriques les unes aux autres ». Trois massifs montagneux d'inégale importance, la Bretagne, l'Ardenne et les Vosges, restes d'anciennes barrières abaissées par le temps, accentuent localement les limites de ce bassin, qui s'ouvre librement vers le nord. Au sud les grandes murailles des Alpes et des Pyrénées, plus hautes parce qu'elles sont de construction plus récente, séparent la France des péninsules méditerranéennes et isolent, sur le bord du Plateau Central, deux larges dépressions intermédiaires,

(1) Cet article, extrait de la *Revue générale des sciences pures et appliquées* (N° du 30 septembre 1894) est reproduit ici avec l'assentiment de l'auteur et du Directeur de la Revue.

celle de l'Aquitaine et celle de la vallée du Rhône, reliées respectivement au bassin de Paris par le seuil du Poitou et par le seuil morvano-vosgien. Enfin un dernier noyau montagneux d'une faible étendue, celui des Maures et de l'Estérel, « se distinguant à la fois par sa composition et par son ancienneté », comble une partie de l'intervalle compris entre les Alpes et les Pyrénées. Les progrès de la Géologie n'ont rien changé d'essentiel au cadre tracé par Élie de Beaumont, et il n'est pas à espérer qu'une image plus frappante puisse jamais, pour bien mettre en lumière *les limites des masses minérales* de notre sol, se substituer avec avantage à celle de cette forteresse centrale, entourée du large vallonnement que forme l'ensemble des trois fossés ou trois grandes vallées de la Seine, de la Garonne et du Rhône, flanquée au nord de ses trois bastions démantelés, la Bretagne, l'Ardenne et les Vosges, et défendue vers le sud par les hauts remparts des Alpes et des Pyrénées.

Il faut bien le dire pourtant : si l'image est frappante, elle est superficielle, ou, pour parler plus justement, elle ne montre que la façade. Si importants que soient les traits ainsi mis en évidence, ce sont, eux aussi, au moins en partie, des *traits extérieurs*, susceptibles, comme les lignes hydrographiques, quoique moins rapidement, de varier avec les années. Une dénudation de quelques centaines de mètres nous forcerait à changer la description : cette description, en effet, ne laisse rien pressentir ni du passé qui a amené l'état actuel, ni des changements que l'avenir peut apporter à cet état. Elle donne un groupement naturel pour la géographie géologique de la France ; elle ne le donne pas, ou le donne insuffisamment, pour l'histoire de la formation du sol français. Peut-on aller plus loin ? Peut-on comparer les continents ou les parties de continents comme la France, à des édifices construits d'après un plan fixe et déterminé ? Et si ce plan existe réellement, pouvons-nous avoir l'espoir de le reconstituer, au moins en partie, de retrouver quelques lignes directrices, autour desquelles se sont coordonnées les différentes phases de la construction, en dépit des interruptions ou des démolitions partielles ?

E. de Beaumont s'est aussi posé ce problème, quoique sous une forme un peu différente, et il a proclamé que ces lignes directrices, si elles existent, ne peuvent être que les chaînes de montagnes, ou, plus généralement, les zones de soulèvement de l'écorce terrestre ; en étudiant la disposition de ces zones, telles qu'elles étaient alors connues, à la surface de la Terre, il crut reconnaître qu'elles s'ordonnaient suivant un réseau géométrique, et qu'elles coïncidaient respectivement avec des grands cercles du *réseau pentagonal*. Il est inutile de se demander aujourd'hui si l'on peut voir, en aucun cas, une loi naturelle

dans celle qui nous montrerait ainsi les lignes de déformation sautant brusquement et sans ordre apparent, d'un cercle à un autre, et si la symétrie un peu factice d'un réseau simple, indéfiniment enrichi ou compliqué par un mode de dérivation géométrique, peut compenser la discontinuité flagrante d'un pareil système; il suffit de rappeler que le progrès des observations a définitivement condamné ce premier essai de systématisation.

Une autre idée s'est fait jour dans ces derniers temps : les lignes de déformation de l'écorce ne forment pas un réseau géométrique, mais elles sont fixes. Les plissements aux différentes époques se reproduisent suivant les mêmes lignes, avec des intensités inégales, tantôt plus énergiques en un point, tantôt en un autre, mais dessinant à la surface de notre globe un réseau de position invariable, dont quelques traits sont en quelque sorte soulignés par les chaînes de montagnes. Si cette idée est exacte, on pourrait d'abord chercher à l'expliquer en supposant que les efforts déterminés par le refroidissement terrestre produisent, en chaque point, une résultante toujours dirigée dans le même sens. Mais, comme on sait d'ailleurs, ainsi que je l'ai expliqué dans un précédent article (1), que les grandes chaînes de montagnes ont un tracé grossièrement circumpolaire, il en résulterait que les méridiens iraient en se raccourcissant plus que les parallèles. La valeur de l'aplatissement est trop voisine de celle qui conviendrait à l'équilibre d'une masse liquide animée du même mouvement de rotation que la Terre, pour qu'on puisse admettre cette conséquence; il faut donc que ce soit seulement une décomposition des efforts développés qui les amène à agir toujours dans le sens des mouvements antérieurs, et que, par conséquent, le réseau principal, ou réseau circumpolaire, se complète par une série de lignes perpendiculaires aux premières. Ce serait ce double réseau de lignes orthogonales qui formerait les lignes directrices de la déformation du globe et de la construction graduelle de nos continents.

Ce réseau d'ailleurs ne sera pas nécessairement marqué en traits toujours aussi accentués qu'on serait tenté de le prévoir. Il semblerait que, si les voûtes formées dans l'écorce vont toujours en s'accroissant dans le même sens, bordées de chaque côté par des fossés qui ne cessent de s'approfondir, les lignes de reliefs et les lignes de rivages devraient à peine se déplacer et rester, elles aussi, assujetties à la même loi de fixité. Il n'en est pas ainsi, d'abord parce que les mouvements de plissements se compliquent de mouvements moins réguliers

(1) Voyez à ce sujet l'article de la *Revue générale des Sciences* du 15 janvier 1892, reproduit dans le *Bull. de la Société belge de Géologie*, Vol. VI, 1892, Pr.-Verb., p. 13 et suiv.

d'exhaussements et d'affaissements régionaux, mais surtout parce qu'une loi naturelle tend, d'une manière constante, à ramener la surface vers la forme régulière d'équilibre, en nivelant les saillies par les phénomènes de dénudation, et en comblant les creux par les phénomènes de sédimentation. Nulle loi n'est indiquée d'une manière plus claire et plus irréfutable par les témoignages concordants de l'histoire géologique : à presque toutes les époques, nous voyons en certains points s'accumuler des milliers de mètres de sédiments, dont en général la presque totalité, dont au moins quelques-uns, dès la base, sont des sédiments littoraux, poudingues ou grès grossiers, déposés dans des eaux peu profondes. L'accumulation suppose alors nécessairement un affaissement corrélatif du fond : ainsi le pays de Galles s'est affaissé de dix mille mètres pendant la période silurienne ; l'Ardenne, de cinq à six mille mètres pendant la période dévonienne ; la Silésie et le bassin de Saarbrück, de dix mille mètres pendant la période carbonifère ; un affaissement égal et supérieur à la plus grande profondeur des océans actuels semble un fait fréquent et ordinaire dans l'histoire du globe ; mais à la place où il s'est produit, on trouve à la fin de la période, non pas une fosse océanique, mais au contraire un fond bas et nivelé ; le remplissage a marché de pair avec la formation de la cuvette. De même, quoiqu'avec moins d'évidence, des chaînes de montagnes, à peine formées, semblent s'effacer et disparaître : dans nos régions la mer, dès le début de l'ère secondaire, dès la fin même de l'ère primaire, envahit, au moins sous forme de prolongements lagunaires, l'emplacement de la chaîne formée après ou pendant le dépôt des couches houillères, et ne laisse bientôt subsister que quelques îlots peu élevés dans toute la zone où venaient de se produire des mouvements aussi énergiques que ceux des Alpes. Dans certains cas, pour une cause que nous ne pouvons préciser, cette sorte de compensation ne se fait pas, ou l'une des deux actions prend le pas sur l'autre ; mais les grandes fosses océaniques ainsi produites, non plus que les hautes chaînes permanentes, comme le Thian Chan ou les Alpes, n'apportent pas de plus éclatants témoignages en faveur de la mobilité de l'écorce que les régions nivelées de la Belgique ou des plaines de l'Oder.

Il résulte de là que la division du sol, faite d'après le réseau des lignes directrices ou lignes de plissements, ne sera pas toujours une division naturelle en régions géographiques ; les traits essentiels ne sont pas nécessairement les traits les plus apparents. Pour reprendre la comparaison du début, le *plan* ne détermine pas d'une manière absolue et ne permet pas de deviner le dessin de la *façade* ; le lien de l'histoire et de la géographie, quoique devant se poursuivre jusque dans les détails et notamment dans ceux de l'hydrographie, n'en reste

pas moins un lien souvent caché. C'est seulement en étudiant ces rapports qu'on arrivera à mieux comprendre l'état actuel; c'est en cherchant à les retrouver dans les géographies des anciennes périodes qu'on pourra établir plus solidement, ou soumettre à certaines restrictions, le principe de la récurrence des mouvements de l'écorce terrestre.

Je voudrais dans cet article faire l'application de ces idées au sol français; montrer d'abord la série des observations et des faits qui ont mené à concevoir la loi; puis indiquer, pour la France, quelles sont les lignes principales du *réseau de déformation*, comment ces lignes se relient au réseau européen, et comment, autour d'elles, peuvent se coordonner dès maintenant les traits généraux de l'histoire de notre sol.

I

L'existence de récurrences plus ou moins fréquentes dans les mouvements de l'écorce, a, depuis Murchison et Élie de Beaumont, frappé tous les géologues; Godwin-Austen, en 1855, a montré comment ces récurrences pouvaient servir de guide dans la recherche des prolongements des bassins houillers, et M. Jourdy, dès 1871, proposait d'en faire une loi fondamentale, sous le nom de *loi de position*. L'idée date donc de loin; mais, par la nature même des choses, elle devait mettre longtemps à se préciser et à se répandre, parce que les points de comparaison et de vérification directe sont en nombre très limité: on ne peut ordinairement constater les mouvements d'un âge déterminé que là où les terrains de cet âge affleurent, et empêchent par là même de constater les mouvements d'un autre âge. De plus, la signification de ces constatations restait isolée et restreinte, faute d'une idée d'ensemble sur l'allure des plissements anciens.

Dans cette voie, comme pour tous les autres problèmes de la Géologie, les belles synthèses de M. Suess nous ont ouvert des horizons nouveaux, et un grand pas a été fait, le jour où l'on a compris qu'on pouvait songer à raccorder entre eux les plis des différents massifs paléozoïques de l'Europe centrale. La Bretagne et le Devonshire, le Plateau Central, l'Ardenne, les Vosges et la Forêt-Noire, le Hartz et la Bohême, étaient auparavant considérés comme des unités distinctes, et les seuls rapports qu'on cherchât à établir entre elles étaient ceux de la composition des diverses assises. Nous savons aujourd'hui que tous ces massifs sont les témoins d'une même grande chaîne qui a accidenté le centre de l'Europe à la fin des temps primaires; cette chaîne était

formée, comme le sont aujourd'hui les Alpes, par une suite de chaînons à peu près parallèles, et les parties connues de ces chaînons, malgré les intervalles qui les séparent, suffisent à faire ressortir très nettement le dessin général de l'ensemble. Les lacunes sont trop grandes sans doute pour qu'on puisse suivre un pli déterminé sur toute la longueur de la chaîne; mais les données sont suffisantes pour un raccordement approximatif, qui permet de prévoir dans les intervalles, non seulement la direction générale, mais les inflexions principales des lignes de plissement. Plus le problème semble complexe, c'est-à-dire plus il y a de lignes directrices à raccorder, plus se restreint le nombre des solutions possibles; grâce au parallélisme général des lignes cherchées, les données que l'on a sur chacune d'elles s'ajoutent les unes aux autres et déterminent, presque sans ambiguïté, l'allure d'une *ligne moyenne*, que toutes les autres devront suivre à plus ou moins grande distance.

Ainsi, les plis anciens peuvent être considérés au moins comme partiellement connus, dans les régions même où la mer est venue plus tard en raser les sommets et les recouvrir de dépôts plus récents. On a donc une base de comparaison avec les mouvements subis à leur tour par cette nouvelle série de dépôts. Ceux-là sont, il est vrai, beaucoup moins accentués : sur l'emplacement de l'ancienne chaîne, le sol, fixé en quelque sorte par la compression qu'il a subie, n'a plus manifesté sa mobilité que par des ondulations de moindre amplitude, et la petitesse de ces ondulations devient souvent un obstacle sérieux à leur étude complète. Plusieurs géologues se sont même montrés disposés à nier tout rapport entre ces mouvements à peine perceptibles et les phénomènes qui ont formé les montagnes. Quoi qu'il en soit, qu'il s'agisse d'ondulations ou de plissements, qu'on en ait ou non pressenti l'importance théorique, ces mouvements locaux de couches restées dans leur ensemble presque horizontales, ont dès le début attiré l'attention pour le bassin de Paris; sans vouloir citer ici les nombreux observateurs qui, depuis Sénarmont et d'Archiac, se sont occupés de la question, je dois rappeler du moins les travaux d'Hébert qui ont permis de surmonter les difficultés résultant de l'uniformité de la craie, et de donner pour la première fois une vue synthétique sur l'ensemble de ces phénomènes. Plus récemment, M. Dollfus, dans un mémoire d'une grande importance, en recueillant toutes les données des observations superficielles et des sondages profonds, a complété les anciens résultats et les a mis sous une forme saisissante, en dressant une carte hypsométrique de la surface de la craie dans le bassin de Paris. Peut-être est-il permis seulement de regretter que l'énumération précise des données numériques utilisées, quelque aride qu'elle eût été, ne figure

pas dans le mémoire, et qu'elle ne permette pas de reconnaître les parties où les courbes sont tracées avec certitude, de celles où il reste une part d'interprétation. Dans le nord les travaux de MM. Gosselet et Parent nous ont déjà fait connaître d'importantes modifications; j'arrive à en proposer plusieurs autres dans l'ouest. Enfin au sud-ouest, du côté du détroit de Poitiers. M. Welsch nous a donné un tracé intéressant des axes des ondulations, et ses tracés, sans être en désaccord formel, puisqu'ils n'ont pas de points de contact, ne semblent pas s'harmoniser très bien avec ceux du bas de la carte de M. Dollfus.

Il n'en est pas de même heureusement pour la partie centrale, de beaucoup la plus étendue; pour celle-là, je crois, les résultats de M. Dollfus peuvent être considérés à peu près comme définitifs, et ils constituent un progrès capital dans nos connaissances. Qu'on jette un coup d'œil sur la carte de M. Dollfus, et l'on verra que les ondulations de la surface de la craie se suivent, serrées et parallèles, *comme les plis d'une chaîne de montagnes*; l'on verra aussi que les directions de ces ondulations, aussi bien que les directions semblables étudiées dans le sud de l'Angleterre, sont précisément celles qu'il faut supposer aux plis anciens pour raccorder avec l'Ardenne les plis du Devonshire et de la Bretagne. Le dessin d'ensemble des mouvements paléozoïques et des mouvements plus récents se montre conforme à un même plan. De plus, il faut ajouter que, pour deux de ces plis au moins (celui des Mendip Hills en Angleterre, et celui du Merlerault en France), on peut suivre l'accident tertiaire jusqu'au contact des terrains paléozoïques, et qu'on le voit alors, en position comme en direction, se mouler sur l'accident ancien. M. Welsch dit également que les plis tertiaires étudiés par lui sont exactement dans le prolongement des plis anciens de la Vendée.

On voit le point où ces récents travaux ont déjà mené la question : le problème a pris corps, en quelque sorte, parce qu'à des coïncidences locales s'est substituée l'idée d'une coïncidence d'ensemble et régionale. Je crois avoir fait faire un nouveau pas en étudiant la surface des terrains primaires au-dessus du bassin houiller du Nord. En supposant, ce qui est conforme aux faits d'observation, que cette surface est une surface de dénudation marine, ses irrégularités actuelles nous montrent les mouvements survenus depuis lors; les travaux de mines donnent un nombre de points suffisants pour tracer les courbes de niveau de cette surface, et ces courbes de niveau mettent en évidence une série d'ondulations parallèles, qui, sur toute leur longueur, se moulent exactement sur les plissements anciens reconnus par les travaux de mines.

Enfin, j'ai montré également que l'on pouvait en plusieurs points, en reconstituant la carte géologique du fond de certaines mers anciennes, dégager de l'ensemble des mouvements post-paléozoïques, et étudier à part les mouvements produits à un moment déterminé de l'histoire géologique, par exemple pendant les périodes d'émersion qui ont précédé le dépôt du crétacé ou celui des premières couches tertiaires. Là encore ces mouvements coïncident exactement, en position et en direction, avec ceux qui les ont suivis; M. Parent, dernièrement, en appliquant la même méthode, a trouvé pour toute la longueur du bombement de l'Artois un résultat semblable à celui que j'avais publié pour le Boulonnais. En présence de faits aussi nombreux et aussi concordants, il est permis de dire que la démonstration est faite pour le bassin de Paris, et je crois pouvoir ajouter : la loi ainsi trouvée est trop simple, elle se vérifie avec trop de rigueur pour qu'on puisse parler de circonstances et hasards locaux; c'est bien une loi naturelle et par conséquent générale. Des exceptions sont sans doute à attendre, quand il s'agit de phénomènes aussi complexes, mais je ne pense pas, pour ma part, qu'elles doivent jamais altérer sérieusement le caractère de généralité de la loi. D'ailleurs, du moment qu'il y a généralisation, il ne s'agit plus évidemment que d'une opinion personnelle, et il est tout naturel que jusqu'à nouvel ordre elle se heurte à une opinion contraire, qui la trouve prématurée. La question est telle, en tout cas, qu'elle ouvre la voie à de nouvelles études, en montrant la nécessité de les pousser jusque dans le détail, et par conséquent elle ne peut que profiter aux progrès de la Géologie.

En attendant ces nouvelles études de détail, une voie indirecte s'offre d'elle-même, qui peut mener à des résultats utiles : c'est l'étude des anciennes lignes de rivage et des anciennes zones de sédimentation. Il ne faut pas, sans doute, s'attendre dans cette voie à des vérifications rigoureuses; si, en effet, une ride en voie progressive d'élévation peut déterminer une ligne de rivage, si l'approfondissement graduel d'une cuvette comblée à mesure qu'elle se creuse, doit correspondre à des conditions spéciales de sédimentation, ces phénomènes ne créent pas des limites nécessaires, ni surtout des barrières infranchissables. C'est seulement dans les traits généraux qu'on peut espérer trouver des coïncidences; ces coïncidences existent, en effet, et se dégagent avec une évidence frappante; les lignes dentelées des rivages, au moins depuis la période secondaire, correspondent, comme aujourd'hui, à des causes variées et complexes; mais les grandes zones de sédimentation, considérées en elles-mêmes, permettent à elles seules de retrouver et de suivre à la surface du globe les directions d'ensemble et les traits

essentiels du réseau de déformation. La distinction des facies alpin et méditerranéen a été faite depuis longtemps et s'applique à des époques où les Alpes n'existaient pas encore comme saillie montagneuse ; mais, de plus, une distinction semblable peut être faite dans le nord et se trouve en rapport avec un trait bien moins profondément marqué de notre géographie européenne : la Baltique, comme la Méditerranée, se trouve spécialisée sur son emplacement actuel dès les premiers temps de l'histoire du globe. On peut parler, au point de vue de la faune, d'une province baltique à l'époque silurienne ; il y a une mer baltique permienne, une mer baltique néocomienne, une mer baltique oligocène ; cette mer, tantôt restreinte à peu près à la cuvette actuelle, tantôt s'étendant plus ou moins sur les plaines de l'Allemagne du Nord et sur celles de la Russie, mais toujours distincte comme zone sédimentaire et comme province faunique, occupe toujours, comme bassin central, l'espace compris à partir de la pointe sud du pays de Galles entre les plissements divergents de l'Écosse et de la Scandinavie d'une part, et de l'Europe centrale de l'autre ; son axe est une ligne essentielle du réseau de plissement.

L'exemple le plus remarquable peut-être est celui que M. Walcott a récemment mis en lumière pour les États-Unis. L'Amérique du Nord forme le plus simple, et, on peut presque dire, le plus schématique de tous les continents, parce que la forme et la géographie actuelle y sont en rapport immédiat avec ses *lignes directrices*. Dans l'Amérique du Nord il existe, non pas accidentellement comme en France, mais d'une manière essentielle et fondamentale, une sorte de *plateau central*, un noyau ancien, autour duquel tout se coordonne, et l'histoire du continent est l'histoire de la lutte de ce noyau émergé avec la mer qui l'entoure au sud. La défense se fait d'abord sous forme de fossés périphériques, qui s'approfondissent de plusieurs kilomètres ; mais la mer les comble à mesure qu'ils se forment, et, après une première alternative de retrait, elle envahit tout le noyau continental ; c'est l'époque de la grande *transgression dévonienne*, qui se retrouve en Europe. Le noyau se dégage ensuite en essayant de prolonger son premier mode de défense ; puis, à un certain moment, à l'est et au sud, il remplace le fossé par une muraille construite avec les sédiments que la mer y a entassés. La limite orientale du continent est alors fixée ; c'est l'époque où chez nous se dresse également la chaîne du centre de l'Europe ; c'est aussi l'époque de la grande *régression* (1) houillère. Pendant les temps

(1) Le mot *régression* a été introduit par M. Munier-Chalmas, et il paraît tout à fait bien choisi pour mettre en évidence, en opposition avec les *transgressions*, les curieuses alternatives d'extension du domaine marin.

secondaires et tertiaires, une histoire analogue recommence du côté de l'ouest; la mer, là encore, comble successivement les fossés échelonnés et finit par envahir de toutes parts, à l'époque de la *transgression cénomaniennne*, les plaines du Mississipi et du Mackenzie. Puis les montagnes Rocheuses s'élèvent à leur tour, fixant la limite occidentale et emprisonnant une partie des eaux marines, qui se rassemblent en une série de lacs progressivement réduits par l'accumulation des dépôts et par l'évaporation; le lac des Mormons en est un dernier vestige. Aujourd'hui, si la lutte n'est pas terminée, un seul passage reste encore incomplètement fermé, au-dessus du golfe du Mexique, entre les murailles de l'est et de l'ouest, et pourrait ouvrir la voie à une nouvelle invasion partielle de la mer.

Le plan de cette histoire si simple, qui nous servira tout à l'heure de modèle pour l'histoire de l'Europe et de la France, est déjà entièrement tracé à l'époque cambrienne, c'est-à-dire à l'époque la plus reculée dont les organismes nous aient été conservés. Non seulement le Cambrien atteint, sur toutes les parties observables d'une zone périphérique, qui correspond à l'emplacement des Apalaches et des montagnes Rocheuses, l'épaisseur énorme de plusieurs milliers de mètres; mais cette zone a seule jusqu'ici montré la faune à *Olenellus*; et, dans cette zone, les Paradoxides caractéristiques du Cambrien moyen sont remplacés par d'autres genres de Trilobites. On est donc en face d'une province sédimentaire et faunique bien accusée, qui dessine dès l'origine une des lignes directrices du continent américain. Mais, il y a plus : la même épaisseur de couches cambriennes et les mêmes formes spéciales de Trilobites se retrouvent en Chine, dans la région du fleuve Jaune, c'est-à-dire dans l'intervalle compris entre les hautes chaînes de l'Asie centrale qui divergent du Pamir. C'est la même province, et c'est bien probablement aussi, d'après les données incomplètes que nous possédons, la même zone de plissements, qui se trouve ainsi marquée à l'avance, et dès l'origine des temps géologiques, sur plus de la moitié du globe. L'avenir nous apprendra si cette zone, comme cela est possible, malgré la différence évidente des sédiments cambriens, doit, en tout ou en partie, se relier à la province baltique de l'Europe.

J'arrive enfin à la France. Ces développements un peu longs et ces détours un peu lointains étaient peut-être nécessaires pour faire comprendre l'importance théorique des lignes directrices, et l'intérêt qu'il peut y avoir à substituer leur considération à celle des lignes d'affluements et des provinces naturelles, pour l'étude de la structure géologique de la France. (Voir la figure page 49.)

II

Les lignes directrices de la France, ce sont les axes des plis qui la traversent, ceux qui ont formé la chaîne paléozoïque du centre de l'Europe, aussi bien que ceux de la chaîne, plus récente, dont font partie les Pyrénées et les Alpes. On voit, sur la carte figurée page 49, que tous ces plis, accentués à des âges si différents, présentant des directions locales si diverses, n'en forment pas moins un dessin d'ensemble, simple et facile à définir : c'est une série de lignes, plus ou moins concaves vers le nord, s'emboîtant les unes dans les autres. Le bord de l'Ardenne et la ligne discontinue des bassins houillers, du canal de Bristol à Douvres, à Aix-la-Chapelle et à la vallée de la Ruhr, dessine une première ligne faiblement incurvée, qui borde au sud la province baltique précédemment définie. Dans les plis qui suivent au sud, la courbure augmente progressivement, elle arrive même à former une sorte d'arête de rebroussement, et, en tout cas, les plis de la Vendée embrassent la presque totalité du Plateau Central avant de remonter vers les Vosges. Les Pyrénées avec les Alpes dessinent l'enveloppe extérieure, avec une concavité semblable, à peine accentuée dans la partie médiane, mais brusquement accusée à l'est, dans la région de la mer tyrrhénienne, par la sinuosité de la chaîne alpine.

Il convient maintenant d'entrer dans quelques détails pour préciser la position de ces lignes et les incertitudes qui subsistent encore dans quelques parties des tracés.

En commençant par le nord, la zone des bassins houillers, bordée au sud par le pli important que M. Gosselet a nommé l'*axe du Condroz*, est connue sans ambiguïté de la Westphalie au département du Pas-de-Calais. Là elle disparaît momentanément et, jusqu'à l'ouest de l'Angleterre, on n'est plus guidé que par deux réapparitions locales de gisements houillers (connus depuis longtemps dans le Boulonnais et récemment découverts à Douvres par sondage) ou par l'étude des ondulations des couches plus récentes. Diverses opinions ont été discutées dans ces derniers temps : les uns voyant la continuation des couches du Pas-de-Calais dans le petit bassin du Boulonnais, les autres la faisant passer à Douvres, les autres la reportant au sud du Boulonnais. L'écart ne serait, en aucun cas, considérable, car les lignes correspondantes ne divergent pas du côté de l'Angleterre, mais continuent à y former un faisceau assez mince ; je crois même que tout le monde a raison, que la zone houillère est composée de diffé-

rents plis, qui s'écartent légèrement en cessant d'être productifs, et qu'il y a seulement désaccord apparent, parce que chacun veut faire du prolongement d'un de ces plis secondaires le prolongement unique de l'ensemble de la zone. Il n'est peut-être pas inutile de rappeler ici le fait, peu connu ou peu remarqué en France, qu'à l'est de la Westphalie, la zone houillère, explorée par de nombreux sondages, paraît remonter vers le nord, et qu'elle irait ainsi, à l'est du petit bassin d'Ibbenbühen, couper normalement les plis plus récents du Teuto-burger Wald.

Au sud, viennent successivement dans l'Ardenne le bassin de Dinant et celui de Charleville, continué par l'Eifel; ce dernier me paraît correspondre à la vallée synclinale de la Somme et de là s'incurver vers la fosse centrale de la Manche. La dépression suivante est marquée par le grand golfe des sédiments liasiques et triasiques du Luxembourg; c'est elle qui oriente, sur son bord sud-est, la vallée de la Moselle et elle est bordée de ce côté par le bombement du Hundsrück et du Taunus. Là les difficultés de raccordement augmentent: l'espace à franchir pour arriver à la partie bien connue du bassin de Paris, devient de plus en plus large, et les ondulations tertiaires y sont moins accusées. Ce fait même pourtant, joint à l'élargissement manifeste de la zone paléozoïque correspondante dans l'ouest, me porte à admettre qu'il y a là une divergence des plis embrassant tout le centre du bassin de Paris; le pli du pays de Bray et ceux de la vallée de la Seine seraient ainsi compris dans cet intervalle. Le bassin de Saarbrück prête à une remarque semblable; je crois être arrivé à mieux suivre de l'autre côté la prolongation des plis centraux de la Bretagne, qu'on a toujours eu tendance, sans un souci suffisant de la continuité, à poursuivre en ligne droite, tandis que leur tracé, au moins partiellement, accompagne l'inflexion si remarquable vers le nord, qu'accusent parallèlement à la Loire, les cours du Loir et de l'Huisne.

En arrivant aux Vosges, les données recommencent à se préciser. Le massif des Vosges se prolonge au sud par deux saillies, qui encadrent la haute vallée de la Saône; la première, qui détermine d'abord le plateau de Langres et correspond, jusqu'à l'ouest de Dijon (pli-faille de Blaisy-Malain), à la séparation hydrographique des bassins de la Seine et du Rhône, se dirige, en s'infléchissant vers le sud, vers les bords du canal du Centre; la seconde va, avec une troisième saillie qui sépare le Doubs de l'Ognon, converger près de Dôle vers le petit massif de la Serre, et fait face aux collines du Mâconnais. La place des deux bassins anthraxifères du Plateau Central, celui du Morvan et celui du Roannais, se trouve ainsi déterminée en correspondance avec les deux

bassins de Thann et de Schirmeck, sur les deux flancs du massif vosgien (et probablement aussi, par suite d'une ouverture des plis autour de la Forêt-Noire, avec les affleurements de Schönau de l'autre côté du Rhin). Or on sait, grâce aux beaux travaux de MM. Michel Lévy, Le Verrier et de Launay, que la bassin carbonifère du Roannais, forme, malgré les rejets et les complications locales, une ligne directrice, maintenant bien connue jusqu'à la Creuse, à travers tout le Plateau Central. Les études de M. Welsch permettent, à l'aide des ondulations tertiaires, de le raccorder, au-dessus de Poitiers, avec les plis de la Vendée, tandis que le synclinal d'Angers correspondrait probablement au Morvan.

Ainsi, pour résumer ce qui a trait à cette première partie, la forme générale des lignes directrices s'y accuse avec certitude; mais le raccordement individuel des plis laisse encore place à beaucoup d'indécisions. Deux lignes seulement, les deux lignes qui encadrent toutes les autres, peuvent être considérées comme bien connues sur tout leur parcours, et, par une heureuse circonstance, ce sont précisément celles qui ont joué le rôle principal dans la répartition et la composition des sédiments paléozoïques : la première borde au sud la vallée de la Tamise, la plaine de la Belgique et la dépression de la Westphalie; puis, remontant un peu vers le nord, elle va se dérober à l'observation sous les plaines de l'Allemagne du Nord. La seconde forme ce que l'on pourrait appeler l'axe central de l'Europe; elle isole au sud la vallée de la Garonne et la vallée du Rhône (en en distrayant les deux affluents vosgiens, l'Ognon et la haute vallée de la Saône); elle passe au sud de la plaine de l'Alsace, elle va de là (comme l'a indiqué M. Penck) se relier aux monts Métallifères (Erzgebirge) de la Saxe, et entoure en demi-cercle le massif de la Bohême. Plus loin elle se perd; ou du moins ne s'accuse plus par les mêmes caractères. Je serais tenté pour ma part de la rattacher par rebroussement au demi-cercle des Carpathes; mais ce n'est là qu'une hypothèse, qui sort en tout cas du cadre de cette étude.

Si nous poursuivons vers le sud notre examen des lignes directrices du sol français, nous arrivons aux plis du système alpin, qui, bien accentués et relativement bien connus, forment l'amorce naturelle pour la seconde partie du réseau.

Le Jura joue par rapport aux Alpes un rôle spécial; c'est un bourrelet de longueur limitée, qui ne se prolonge ni d'un côté ni de l'autre par une zone semblablement plissée; c'est un morceau de la région extra-alpine englobé dans les plissements alpins: aussi est-ce dans les plis paléozoïques qu'il faut en chercher la continuation. Le Jura, dans

son ensemble, à part les plis les plus orientaux qui vont se joindre à la zone subalpine, s'abaisse et s'aplanit vers le sud, et c'est sous forme de plateau faiblement accidenté qu'il disparaît et se masque sous les dépôts récents de l'Isère et de la Drôme. M. Termier a montré que le pli paléozoïque de Vienne et d'Annonay correspondait au bord occidental du Jura; les Cévennes, avec leur direction sud-ouest, s'alignent donc bien dans le prolongement de la chaîne tertiaire. Puis la grande faille signalée par M. Grand'Eury, depuis le bord du bassin d'Alsace jusqu'à Genolhac, interrompt brusquement la direction des microschistes, qui s'orientent de l'est à l'ouest avec l'Aigoual et le mont Lozère; la faille est une véritable arête de rebroussement, à l'ouest de laquelle les plis anciens, aussi bien que les ondulations plus récentes, suivent le bord du Plateau Central.

La grande plaine mollassique de la Suisse et les premiers plis subalpins montrent, comme le Jura, une tendance marquée à s'aplanir vers le sud; au sud de la Drôme, ils sont remplacés par une série de plis est-ouest, avec lesquels ils se raccordent partiellement, et sur lesquels je reviendrai tout à l'heure. Leur raccordement virtuel avec la Montagne Noire et avec les rides crétacées du bassin de la Garonne (Roquefort, Cabanac) est, dans l'état de nos connaissances, purement théorique.

Les massifs anciens qui, des Alpes bernoises au mont Blanc et au Pelvoux, reparaissent sur le flanc nord-ouest des Alpes, forment une nouvelle zone (première zone de Lory), qui, comme les autres, s'abaisse rapidement au sud avant d'atteindre la vallée de la Durance. Les plis correspondants continuent cependant, et vont, par une série de sinuosités, border la vallée du Var, entre les massifs anciens du Médoc cantour et des Maures.

La zone suivante, ou zone des terrains houillers (3^e zone de Lory) a un intérêt tout spécial. Les Alpes françaises, en effet, prises dans leur ensemble, présentent une structure *en éventail*, tous les plis de l'ouest (sauf les éventails locaux formés par les massifs cristallins) étant couchés vers la France, et tous les plis de l'est couchés vers l'Italie; la zone houillère est le *centre de cet éventail*. Les études de ces dernières années me font considérer comme très probable que cette zone centrale s'élargit au nord-est, de manière à embrasser tout le massif de Dent Blanche et du mont Rose. Au sud, au contraire, comme dans les zones précédentes, elle s'amincit et s'abaisse, et, au-dessous de Briançon, les terrains houillers disparaissent complètement; le centre de l'éventail est marqué, géologiquement parlant, non plus par une saillie, mais par un creux, rempli de sédiments tertiaires. A ce changement corre-

pendent aussi, notamment dans l'Ubaye, des accidents très importants et très particuliers, dont MM. Kilian et Haug nous promettent pour bientôt la description. La persistance de l'axe anticlinal se manifeste encore pourtant plus au sud par l'apparition du large massif cristallin du Mercantour, qui fait saillie au milieu de la bande tertiaire; plus loin, cette bande, un moment infléchie vers l'est, va, avant d'atteindre Savone, disparaître sous les eaux de la mer tyrrhénienne.

Enfin, une quatrième bande (quatrième zone de Lory) forme le bord de la plaine du Pô, avec les massifs du Grand-Paradis et du Viso comme parties centrales et culminantes. Là encore, il semble que la vallée de la Doire marque un abaissement considérable de la zone vers le sud. C'est la région des terrains les plus métamorphisés, où les gneiss pourraient bien n'être, au moins en partie, pas plus anciens que le Permien ou le Carbonifère. La continuation s'en fait par les Alpes apuanès, et, plus loin, d'après M. Suess, par le grand arc semi-circulaire de l'Apennin et de l'Atlas algérien.

Ainsi les différentes branches du faisceau alpin divergent dans la région française; les plus occidentaux vont, en s'abaissant, se coller aux bords du Plateau Central, les plus orientaux vont embrasser tout le pourtour de la mer tyrrhénienne. Quelle est à l'intérieur de ce grand éventail la place exacte des Pyrénées? Il est peut-être difficile de le préciser; mais cela n'a d'ailleurs, au point de vue étudié, qu'une importance secondaire: évidemment et d'après le seul fait des données précédentes, les Pyrénées correspondent à quelques-uns des plis intermédiaires du faisceau, et, par conséquent, dans la partie où les plis se rapprochent, on n'a qu'un faible écart à craindre dans le tracé. On peut d'ailleurs serrer d'un peu plus près la question: les plis de la Provence correspondent, comme direction, comme allure et comme nature des terrains englobés, au grand pli de Bugarach, que M. Carez nous a fait connaître au sud des Corbières. L'étude des profondeurs de la mer, dans la partie intermédiaire, confirme ces premières données, et l'on peut en conclure que les plis extérieurs du versant nord des Pyrénées (plis des Corbières, pli du pic de Tabe), s'ils se continuent au delà des Maures, ce qui n'est pas certain, restent tout entiers à l'intérieur des zones précédemment décrites, et ne peuvent correspondre qu'aux chaînes subalpines. Par contre, les mêmes courbes de profondeurs sous-marines semblent indiquer, non seulement par l'abaissement du fond, mais par la convergence des lignes de plissements, que le massif des Maures ne se continue pas vers l'ouest, que c'est un massif elliptique limité, comme celui du Mercantour; on serait ainsi conduit à faire passer plus au sud la continuation des Albères, et à les

rattacher, soit à la ligne du Pelvoux et du mont Blanc, soit même l'axe central de l'éventail alpin.

Je ne puis m'empêcher de remarquer, quoique ce ne soit pas ici lieu d'insister sur cette question, que la déviation tout à fait exceptionnelle des lignes du plissement alpin, jointe à ce remarquable abaissement de toutes les zones en face de la vallée de la Durancé, peut faire naître l'idée qu'on est là en présence d'une *déformation* du réseau primitif. Ce réseau, en effet, se simplifierait singulièrement si l'on faisait correspondre les Pyrénées aux Apennins, et les Alpes centrales à la Montagne Noire et aux bords de la Garonne. On serait en face d'un de ces cas, dont j'ai signalé ailleurs la possibilité théorique où la chaîne de montagnes, en se formant, au lieu de suivre une ligne unique du réseau, aurait épousé successivement un ou plusieurs traits du réseau perpendiculaire. Cela revient à supposer, dans l'exemple actuel, qu'il aurait existé autrefois, entre la vallée du Pô et celle de la Durancé, une zone d'affaissement ou de sédimentation ininterrompue continuée au pied de la Montagne Noire; c'est bien ce que je crois, mais sans preuve directe, avoir existé à l'époque dévonienne. Plus tard, dès le Trias, les zones de sédimentation suivent les contours actuels des Alpes; tout au plus pourrait-on, à la fin de la période crétacée, être tenté de chercher à cette place la trace d'une communication marine, mais les affleurements font défaut. Il s'agit donc simplement d'une hypothèse que l'état de nos connaissances ne permet ni de soutenir, ni de combattre par des faits précis; et les lignes directrices, telles que je les ai décrites, conservent, en tout cas, leur rôle pendant toute la durée des périodes secondaires et tertiaires.

Ainsi, nous voyons se compléter autour de la France, par la ligne enveloppante des Alpes et des Pyrénées, le réseau déjà bien marqué des plis paléozoïques. Malgré les incertitudes de détail, que j'ai tenu à bien mettre en lumière, l'emboîtement successif de ces lignes directrices ressort avec évidence, ainsi que leur tendance à s'aplatir progressivement vers le nord jusqu'aux plis presque rectilignes du bord de l'Ardenne. Il reste maintenant à compléter ce premier dessin en indiquant la place et le rôle des principaux plis perpendiculaires.

L'existence de plis transversaux, perpendiculaires aux plis principaux, a d'abord été indiquée en France par Hébert pour le bassin de Paris; mais il ne s'agit là que d'ondulations très faibles, très difficiles à suivre sur de longs parcours, et leur rôle est en général inappréciable dans une vue d'ensemble sur la structure de notre pays. On peut dire autant des plis transversaux que M. Roussel a récemment in-

qués dans la région pyrénéenne (1). En réalité, il n'y a que deux régions françaises où ces plis perpendiculaires semblent jouer un rôle essentiel : c'est le Plateau Central et la basse vallée du Rhône.

Ce qui donne au Plateau Central son aspect isolé et sa place prépondérante dans une division de la France en régions naturelles, ce sont les deux dépressions, plutôt encore géologiques que topographiques, qui, comblées par des dépôts secondaires, l'ont séparé de la Vendée et des Vosges ; ce sont les traces de deux rides transversales, que malheureusement il est difficile actuellement de suivre bien loin, ni au nord ni au sud. Tout au plus pour la dépression du Poitou, que M. Welch a pu décomposer récemment en une série de rides secondaires, pourrait-on être tenté de mettre quelque'une d'entre elles en relation avec le bord du massif armoricain ou avec la côte de la Gascogne ; cela n'est, en tout cas, qu'une pure hypothèse, sans faits précis à l'appui.

D'autres dépressions du même genre peuvent se suivre, sur un plus long parcours, à l'intérieur du Plateau Central ; par suite de l'agencement semi-circulaire des plis principaux, elles ont une *disposition radiale*, qui les fait converger vers la région de Decize et de Moulins. La première, d'origine très ancienne, correspond à la bande bien connue des petits bassins houillers du centre ; les deux autres sont suivies presque exactement par les vallées de l'Allier et de la Loire. Ces lignes sont en rapport direct avec les éruptions du Plateau Central : les grands volcans du mont Dore, du Cantal et de l'Aubrac s'alignent sur le milieu du bombement qui sépare les deux premières ; les puys ainsi que les volcans du Velay et du Vivarais suivent les bords de la vallée de l'Allier, tandis que les éruptions de l'époque houillère se groupent autour de la troisième dépression. Ces lignes se continuent au nord par les failles du Sancerrois et du bord du Morvan ; au sud, celle de l'Allier va rejoindre la faille déjà mentionnée, qui, près du bassin d'Alais, change brusquement la direction des micaschistes, et il semble permis de la rattacher aux plis transversaux de la vallée du Rhône.

Il est à remarquer que, par suite de la forte courbure des plis principaux, ces lignes radiales déterminent dans les couches tertiaires de larges ridements, à peu près parallèles aux plis du Jura méridional, ce qui a porté à rattacher les uns comme les autres à un même système, le système alpin. On voit combien il faut se méfier du rapprochement des directions : ici ces lignes, en apparence parallèles,

(1) M. TERMIER vient aussi de signaler l'existence de plis transversaux dans les Alpes (massifs des Grandes-Rousses et du Pelvoux).

appartiennent à deux systèmes orthogonaux, et tout à l'heure j'ai cité l'exemple des plis d'un même système se déviant brusquement, presque d'un angle droit, à la rencontre d'une faille transversale. Il n'en est pas moins vrai que, dans le cas actuel, cette analogie de direction a pu déterminer, lors de la poussée alpine, l'accentuation plus marquée de plis transversaux du Plateau Central.

Les plis transversaux de la vallée du Rhône appellent, à plus forte raison, une remarque analogue : ils sont précisément dirigés de l'est à l'ouest, c'est-à-dire dans la direction moyenne du réseau principal et de plus ils s'échelonnent, sans limite tranchée, parallèlement aux plis de la Provence que j'ai rattachés à ce réseau ; mais, dans l'éventail formé à partir du Dauphiné entre les lignes jurassiennes ou subalpines qui traversent le Rhône et les zones alpines momentanément déviées vers le sud-est, ces plis dessinent une série d'arcs de cercle ayant pour centre le point de divergence ou sommet du triangle, et par conséquent perpendiculaires aux deux rayons ; il sont très accentués dans la partie médiane, où ils forment de véritables chaînons montagneux (Léberon, montagne de Lure) ; vers les deux bords du triangle, au contraire, ils s'abaissent et s'effacent, si bien qu'il n'y a pas, à proprement parler, de croisement avec les plis alpins. La curieuse région où se fait cette rencontre, au nord de Digne, a été étudiée par MM. Kilian et Haug ; je ne trouve dans les faits décrits aucune raison pour voir là deux soulèvements d'âges différents. Les actions qui ont produit les Alpes ont produit en même temps les plis perpendiculaires ; pendant les différentes phases de ces mouvements, tous les plis ne se sont pas en même temps également accentués ; ce sont tantôt les uns, tantôt les autres qui ont le plus cédé aux efforts ; mais ces efforts ne se sont pas portés d'abord sur les lignes d'un des réseaux, puis sur celles du réseau perpendiculaire ; à toutes les époques, il y a eu simultanément accentuation de plis de l'un et de l'autre système. Il est clair seulement dans ce cas, comme dans celui du Plateau Central, que le parallélisme accidentel des rides transversales avec une branche du réseau principal, a contribué à donner à ces rides une importance inusitée. Il est intéressant de remarquer que, dans cette série de plis est-ouest, la plus grande énergie du mouvement s'est progressivement déplacée du sud vers le nord, et que, contrairement à la règle ordinaire dans les chaînes des montagnes, les déversements et déplacements horizontaux s'y font alternativement vers le nord et vers le sud.

On voit, d'après cette énumération, que le réseau des plis perpendiculaires ne joue, dans la structure du sol français, qu'un rôle subordonné. Il n'en est pas partout ainsi : l'Oural et, sur une moindre

échelle, la Thuringe, le Hartz, la Westphalie et la Hesse en sont des exemples frappants. Mais, en France, ce ne sera que par une suite d'études de détail, qu'on pourra arriver à tracer d'une manière complète un second réseau et à en vérifier la perpendicularité sur le premier.

III

Nous sommes ainsi en possession d'un réseau, qui, en dehors de la loi des croisements orthogonaux, n'a rien de géométrique, mais dont les lignes, déterminées *par points*, et résultant de l'observation directe, constituent incontestablement un ensemble simple et ordonné. Les lignes de ce réseau, si notre point de départ et si nos premières conclusions sont exactes, jouissent de cette propriété fondamentale que, *en tout temps et en tout point* (sauf quelques exceptions toujours possibles), *les mouvements du sol se sont adaptés à leurs directions*. Il me reste à montrer comment l'histoire sédimentaire, d'une part, et celle de la formation du continent se coordonnent autour de ces lignes.

On sait, et j'ai exposé ici même (1) que les grandes chaînes de montagnes qui ont accidenté successivement la surface de l'Europe, se sont échelonnées du nord au sud, d'autant plus récentes qu'elles se rapprochent davantage de la zone méditerranéenne. La plus ancienne, la *chaîne calédonienne*, dont les traces subsistent en Écosse et en Scandinavie, s'est formée sur le bord d'un ancien continent polaire, dont faisait partie le noyau primitif de l'Amérique du Nord. Dans les régions équatoriales, nous pouvons avec vraisemblance faire remonter à une égale antiquité le continent indo-africain, qui s'étendait de l'Australie à l'Hindoustan et à l'Afrique centrale. C'est entre ces deux continents que se déroule l'histoire de nos mers paléozoïques. Cela ne veut pas dire qu'il y ait eu entre les deux, dès le début, une mer uniformément libre et ouverte; et ainsi, pour la période cambrienne, quelque restreintes que soient les données fournies par les affleurements, elles permettent de constater l'existence de mouvements importants, et l'émergence au moins temporaire de certaines parties, dans le large intervalle que je viens de définir. En Normandie, par exemple, les couches les plus anciennes, dans lesquelles MM. Barrois et Cayeux viennent de signaler l'existence de radiolaires, ont été plissées et émergées, et les plis formés ont été rasés par le retour de la mer cambrienne

(1) *Revue générale des Sciences*, 15 janvier 1892, reproduit dans *Bull. Soc. belge de Géol. Paléont. et Hydrol.* Vol. VI, 1892, Pr.-Verb. p. 13.

(à un moment encore indéterminé de la période). En Bohême, la mer cambrienne s'est aussi avancée transgressivement, du nord vers le sud sur une région émergée et plissée; nous suivons là le mouvement de transgression pendant le Cambrien moyen et supérieur. Il nous est seulement impossible de dire quelle a été l'importance et la durée de ces émergences; on ne peut guère, non plus, vu l'espace restreint sur lequel ces mouvements ont pu être étudiés, dire s'ils concordent avec les mouvements postérieurs (1). Tout au plus peut-on présumer, en raison de l'uniformité des dépôts et de la faune du Silurien supérieur, que la mer de cette époque était très largement et très uniformément répartie sur la plus grande partie de l'Europe. Seule, la province baltique, entre la chaîne calédonienne en formation et la future chaîne du centre de l'Europe, s'accusait déjà, de Ludlow à l'île de Gotland et à la Russie, par la nature spéciale de ses dépôts et de sa faune.

Les données sont plus nombreuses et plus précises pour la période suivante, ou période dévonienne. Au début de la période, nous trouvons encore, dans l'Ardenne et dans la Thuringe, des preuves locales de soulèvements, faisant émerger des crêtes bientôt envahies et rasées par la mer dévonienne. En France, M. Ehlert en Bretagne, et M. Bergeron dans la Montagne Noire, signalent aussi au même moment une émergence et une discordance. Mais partout ces émergences, importantes ou non, ont le même caractère transitoire et éphémère; elles n'ont d'influence qu'au début de la période sur la composition des sédiments voisins, qui bientôt reprennent leur uniformité. Une seule ligne, dans l'état de nos connaissances, fait exception : c'est celle qui, pendant toute la durée du Dévonien inférieur, a formé en Europe le rivage septentrional de la mer dévonienne. Si l'on fait, en effet, abstraction du vieux grès rouge, déposé dans des conditions spéciales dans les anfractuosités de la chaîne nouvellement formée, on constate que la mer du Dévonien inférieur n'a pas pénétré dans toute la région de la Baltique et de la Russie centrale; et dans l'Ardenne, où l'on peut retrouver la place du rivage, il coïncide, ainsi que l'a montré M. Gosselet, avec l'axe du Condroz, c'est-à-dire avec le premier des plis dont j'ai donné la description. Au delà de la Westphalie, l'affleurement de ce pli cess

(1) En Russie, M. Karpinsky a indiqué que les gneiss de la Finlande avaient été plissés avant le Cambrien dans une direction normale aux plis postérieurs, et en rapport avec celle de l'Oural. En Thuringe, M. Liebe a signalé des mouvements cambriens et siluriens, dans une direction sensiblement aberrante de celle des plis plus récents; mais, comme il ne s'agit là que de directions locales, sans qu'on puisse suivre les axes d'aucun pli, il n'y a pas à attacher théoriquement une grande importance à cette divergence apparente

d'être visible : mais bien des indices permettent de croire qu'après une forte inflexion vers le nord, il va rejoindre, au-dessus de la mer Noire, le bord du bassin houiller du Donetz. La ligne, ainsi tracée par de simples considérations tectoniques, se trouve en fait séparer les régions de l'Europe où l'on connaît le Dévonien inférieur de celles où il fait défaut. On est donc autorisé à dire pour toute l'Europe ce qui est, en tout cas, certain pour la partie française : c'est le pli de Condroz, le pli le plus septentrional de la future chaîne carbonifère, qui, en s'ébauchant à la fin du Silurien, a déterminé le rivage du Dévonien inférieur. La transgression du Dévonien moyen, aussi importante en Europe qu'en Amérique, a franchi cet obstacle et a couvert toute la région baltique ; elle a d'ailleurs été précédée de phases semblables à celles que j'ai signalées en Amérique, c'est-à-dire que la mer, avant de franchir la barrière, a dû combler un fossé de 4.000 mètres progressivement creusé à ses pieds.

Si l'on regarde plus au sud, on sait aujourd'hui que le Dévonien inférieur est, dans le centre de l'Europe, représenté par des dépôts calcaires et pélagiques, longtemps considérés comme plus anciens et désignés sous le nom d'*hercyniens*. Or, les affleurements intermédiaires montrent une série de passages graduels entre le facies détritique du nord et le facies pélagique du centre, comme l'indiquent les schistes de Porsguen et de Wissembach, les calcaires d'Erbray et les lentilles calcaires de la Thuringe. Dans les Alpes et dans la Montagne Noire, on continue à trouver le facies calcaire de la Bohême, s'étendant peut-être encore jusqu'aux Corbières. Puis, dans les Pyrénées, on ne rencontre plus que des intercalations hercyniennes, avec les schistes de Cathervieille ; dans les Asturies, la succession reproduit celle de la Bretagne, tandis qu'au sud reparait le facies détritique. Les zones de sédimentation semblable s'alignent bien suivant les zones de plissements et n'accusent nulle part l'influence de massifs émergés intermédiaires. Malgré les énormes dénudations qu'entraîne cette conclusion, il est permis de penser que toute l'Europe, au sud du pli du Condroz, jusqu'au Sahara, ne formait alors qu'une large cuvette marine, dont l'axe central allait de la Bohême à la Montagne Noire. S'il existait à l'intérieur de cette cuvette des îles ou parties émergées, elles étaient sans influence connue sur la sédimentation.

Après le Dévonien, cette cuvette se subdivise en deux autres par une arête médiane, qui traverse la France de la Vendée au sud du Plateau Central et au sud des Vosges, et qui va de là rejoindre le nord de la Bohême. Tout le long de cette ligne, on peut reconnaître les indices de rivage, par l'abondance des poudingues et des éruptions ; tout le

long de cette ligne également, de la Vendée à la Thuringe, on a constaté la transgression vers le sud des différents termes du Carbonifère (1). Le centre de la cuvette nord était dans l'Ardenne; celui de la cuvette sud dans les Asturies. D'autres saillies sont possibles et même probables, par exemple près de la ligne des bassins houillers du sud de l'Angleterre, dans le Taunus et aussi entre les bassins de la Bretagne; mais, comme les saillies dévoniennes, elles n'ont joué qu'un rôle momentané et secondaire dans la composition des dépôts. La ligne que ces sédiments mettent en évidence est exactement la seconde grande ligne directrice de notre réseau.

A l'époque houillère, par suite de l'uniformité des sédiments, nous ne pouvons nous guider que sur les transgressions; elles ne nous permettent pas d'affirmer la séparation des cuvettes houillères du nord de l'Angleterre (province baltique) et du nord de la France; mais elles montrent nettement la séparation du bassin de la Belgique (transgression vers le sud) et de celui de Saarbrück (transgression vers le nord-ouest); elles montrent également l'émergence des Vosges, c'est-à-dire la subdivision de la cuvette primitive en quatre cuvettes distinctes par l'accroissement des lignes directrices intermédiaires.

Du côté du sud, les données sont moins nombreuses: pourtant nous savons par les travaux de M. Frech qu'un premier soulèvement a marqué la place des Alpes dès la fin de la période primaire et on retrouve le même résultat dans les Pyrénées. L'étude des dépôts et des transgressions confirme et précise ce résultat: la présence des Fusulines dans les Asturies, le Permien marin récemment signalé par M. Caralp dans la Haute-Garonne, sont en rapport avec l'existence de la faune à Fusulines en Carinthie et probablement aussi des faunes marines de la Bosnie et de l'Herzégovine; on est ainsi amené à concevoir l'existence d'une cuvette marine suivant l'Adriatique et la vallée du Pô, venant aboutir aux Pyrénées à la vallée de l'Èbre, et terminée à l'ouest, au fond du golfe, par des lagunes saumâtres et houillères. Or, des Balkans au Banat et au Semmering, du Valais au Briançonnais et aux Corbières, on suit vers le nord les transgressions de cette mer au début du Houiller supérieur (Stéphanien). Cette transgression, marquée uniquement par des dépôts saumâtres et houillers, arrive jusqu'au pied du Plateau Central (Alais, Carmaux, Decazeville); et à la fin du Houiller supérieur, elle pénètre même dans les dépressions de ce

(1) Le résultat indiqué pour le Plateau Central par M. Julien, d'après l'étude des faunes du Morvan et du Roannais et accueilli avec quelque défiance à cause de l'analogie pétrographique des sédiments, se trouve ainsi être l'expression d'un fait général.

Plateau, qu'elle met ainsi en évidence; ces dépressions se présentent à nous sous forme de canaux allongés, analogues au canal Calédonien; l'une d'elles coïncide avec la vallée de l'Allier, et elles nous montrent, suivant des traits déjà mentionnés, la première apparition du réseau perpendiculaire (1).

Il résulte donc de là qu'à la fin du Primaire, c'est tout l'ensemble des lignes directrices de notre sol qui est déjà dessiné; peut-être y a-t-il cette différence que la ligne alpine a un *contour simplifié*, et qu'elle ne laisse encore prévoir ni la déviation des Carpathes ni celle des Apennins; c'est l'hypothèse que j'ai déjà indiquée plus haut. Mais, en tout cas, les *fondations* de notre sol sont partout posées; partout sur ces fondations le sol a commencé à s'élever; et c'est même, au moins pour l'Europe centrale, un édifice complet et achevé que nous voyons se produire comme dernier terme de ces efforts. On pourrait même, dans ce continent nouvellement sorti des eaux, songer à définir, malgré l'absence de la limite naturelle actuelle du côté de la Manche, la place d'une *France paléozoïque*.

Un dernier trait est encore à noter : presque partout, en Angleterre, en France et en Espagne, les sédiments paléozoïques montrent une tendance, du côté de l'ouest, c'est-à-dire du côté de l'Atlantique, à s'épaissir et à devenir plus grossiers. La même remarque a été faite pour l'Amérique du Nord, et on en a déduit l'existence probable d'un ancien continent sur l'emplacement de l'Atlantique actuel, au moins de sa partie septentrionale. Il ne peut être question, bien entendu, de préciser la place et l'étendue de cette ancienne Atlantide, mais on peut y voir le point de départ d'un rapprochement peut-être intéressant : l'Océan paléozoïque, dont nous venons de résumer l'histoire dans nos contrées, s'étendait aussi sur toute l'Asie centrale et sur les États-Unis d'Amérique; il formait donc une large ceinture circumpolaire, comparable à celle que forme aujourd'hui au sud, à peu près dans les mêmes latitudes, l'Océan glacial antarctique; et la pointe d'Atlantide qui interrompait cette ceinture pourrait être comparée à la pointe actuelle de l'Amérique du Sud. Enfin il se peut encore qu'entre cette Atlantide et le continent équatorial il ait toujours existé un passage pour une

(1) Je renonce complètement à l'hypothèse que j'avais précédemment développée, en voulant, suivant l'opinion généralement adoptée, faire de tous les bassins houillers du centre de véritables lacs de montagnes. L'analogie, montrée par M. Grand'Eury, des couches du bassin d'Alais avec ce qu'on a appelé le *facies marin* (ou *paralitique facies*) du Houiller, et surtout la généralité du phénomène de transgression, me forcent à revenir à l'opinion de M. Suess, qui rattache ces déplacements des couches dites lacustres aux changements de niveau relatif de la mer.

Méditerranée; nous avons tendance à le croire, mais nous l'ignorons.

La seconde période de l'histoire géologique de la France est mieux connue, et connue depuis plus longtemps : elle se distingue surtout de la première, parce que la zone de plus grande mobilité de l'écorce s'est déplacée vers le sud, de l'Europe centrale aux régions alpine et méditerranéenne. Dans le nord et dans le sud, les mouvements se poursuivent suivant les mêmes lignes ou du moins s'ordonnent suivant le même réseau ; mais dans le nord, à cause de leur faible amplitude, leurs relations avec les phénomènes sédimentaires ne peuvent guère se constater que par une étude de détail, c'est dans l'ensemble même et dans les traits généraux qu'ils ressortent avec évidence.

Tout d'abord le début des temps secondaires marque un recul dans l'édification du continent. Comme si l'effort avait été prématuré ou trop rapide, l'édifice n'a qu'une existence éphémère ; il y a partout un affaissement d'ensemble, avec des tassements locaux et la mer revient s'établir sur ces ruines. Cette instabilité de nos anciennes chaînes est ce qui rend l'histoire de l'Europe si différente en apparence de celle de l'Amérique du Nord, malgré le parallélisme constant de toutes les phases et de tous les chapitres. Tandis que là-bas les Alleghanys forment un accroissement définitif du noyau ancien, chez nous ce noyau ancien est submergé et les zones qui devaient l'accroître laissent place de toutes parts à des golfes plus ou moins échanrés et à des bras de mer semblables à ceux de la période paléozoïque. Mais, si les contours complexes de la mer ne laissent plus deviner la place de l'ancienne chaîne, l'étude des facies continue à la délimiter avec précision, et c'est elle qui depuis longtemps a permis de distinguer les deux grandes provinces, la province du nord et la province méditerranéenne.

Pendant le Trias, nous ne trouvons dans le nord, en France et en Angleterre, que des plages basses et des marais salants, dont l'extension probable suit, en les débordant localement, l'emplacement du synclinal de la Somme et du synclinal de Saarbrück ; ils se réunissent à l'est, avec la bande de la Baltique et du Jura, dans un bassin plus large, où les organismes marins s'établissent pendant une partie de la période. Au sud, un ou plusieurs golfes semblables, où quelques mollusques marins peuvent pénétrer un peu plus loin vers l'est, s'avancent dans les vallées de la Garonne et de l'Èbre, et sur l'emplacement intermédiaire des Pyrénées. La mer libre, où se développaient les Ammonites et les récifs de Polypiers, occupent l'emplacement des Alpes ; pourtant de la France à la Suisse, dans les deux zones extérieures, on ne trouve, comme dans les Pyrénées, que le facies lagunaire, et il y a là une

confirmation du raccordement des plis tel que je l'ai indiqué plus haut.

Par contre, la zone centrale était une zone d'affaissement, où s'accumulaient des milliers de mètres de sédiments, sous forme de calcaires compactes et de schistes (schistes de Wengen, schistes lustrés); et cette zone de sédimentation se poursuit le long des Apennins, dessinant ainsi pour la première fois cette branche aberrante du système alpin. Cette mer triasique pénétrait dans la Méditerranée jusqu'aux bouches de l'Èbre et jusqu'au golfe de l'Andalousie, où M. Barrois a signalé des *Megalodon*. Elle ne pénétrait pas en Algérie.

A l'époque jurassique, on voit s'ouvrir la dépression de Poitiers; qui assure une plus large communication entre les deux provinces du sud et du nord; les golfes de la période précédente s'élargissent, se rejoignent, couvrent tout le bassin de Paris en ne laissant qu'une île peu étendue au sud du Plateau Central, et s'avancent dans le golfe de Gascogne sur l'emplacement de l'Atlantique. On peut distinguer, en correspondance avec une double période d'affaissements, deux périodes de remblaiements successifs du bassin parisien, d'abord par des argiles venues des cours d'eau du nord et du nord-ouest, puis par des calcaires; de ces deux périodes presque symétriques l'une comprend le Lias et le Jurassique inférieur, l'autre le Jurassique supérieur.

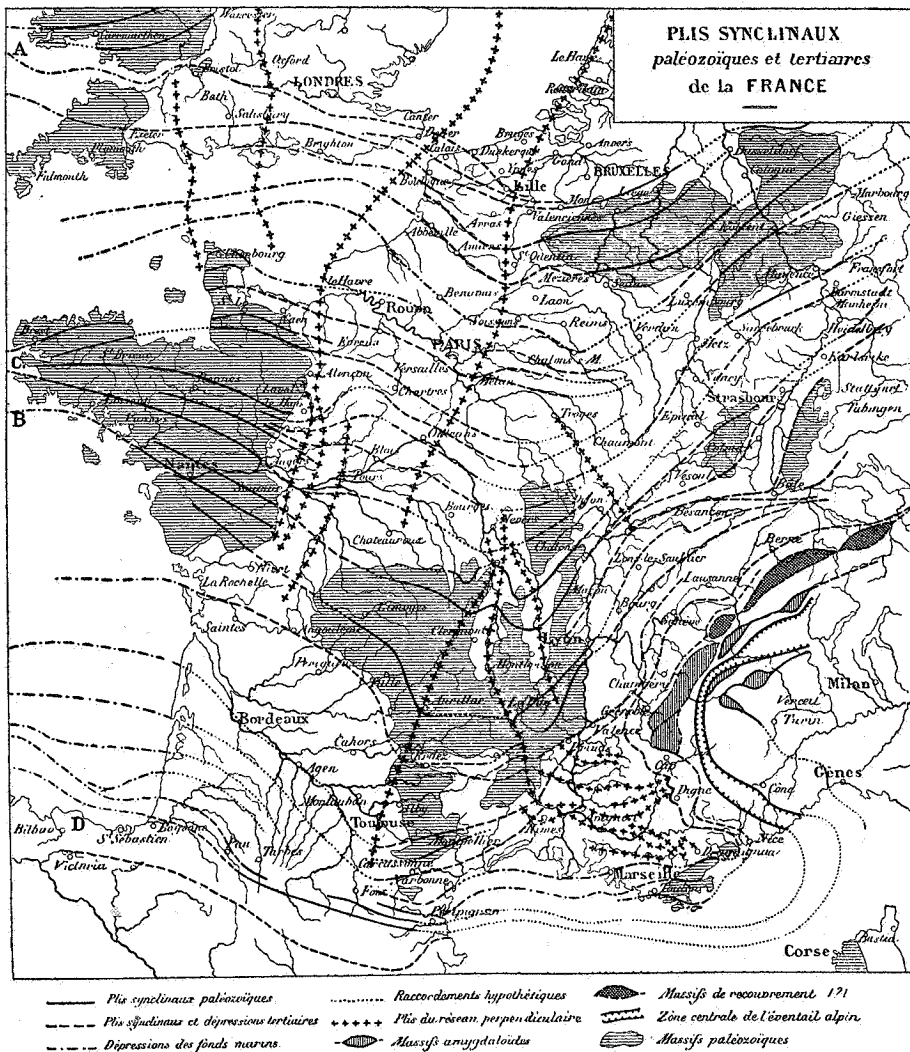
A la fin de l'une comme de l'autre, on peut constater quelques mouvements du sol, toujours conformes aux lignes directrices; mais l'influence probable de ces ondulations sur la sédimentation n'a pu encore être suivie. De plus, à la fin du Jurassique, pendant que toute la partie extra-alpine du sol français est émergée ou transformée en lagunes d'évaporation, la faune du Boulonnais permet de conclure à une première ébauche de la dépression transversale du Pas-de-Calais. En dehors de la France, la seconde partie de la période jurassique est marquée par une grande transgression de la mer du Nord, qui, suivant la même voie que la transgression dévonienne, s'avance sur toutes les plaines de la Baltique et de la Russie, en allant rejoindre l'Océan arctique.

Au sud, dans la région alpine, on a remarqué, depuis longtemps, que les différents facies suivent exactement les zones de plissements. Des facies spéciaux s'accroissent sur les bords des Pyrénées et des Maures, qui semblent prendre l'avance sur l'ensemble du soulèvement alpin. De plus, d'après M. Haug, cette même étude des facies indiquerait une émergence au moins partielle de l'ancienne zone d'active sédimentation du Trias. Mais, c'est surtout à la fin de la période que les grandes lignes directrices sont bien mises en évidence par la distri-

bution des provinces sédimentaires ; un vaste demi-cercle de formations coralliennes entoure les Alpes, auxquelles dès lors se relie nettement les Carpathes ; ces formations, succédant aux récifs moins étendus qui s'étaient successivement alignés, avec un retrait progressif vers le sud, sur l'emplacement des futurs plis du Jura, séparent la province des sédiments littoraux et de l'émersion finale, de la province pélagique ou *tithonique* ; cette dernière embrasse toutes les Alpes, sans que l'influence des parties émergées, si réellement il en existait, semble nulle part s'y faire sentir ; elle laisse, au contraire, en dehors les Pyrénées, ce qui est conforme à l'hypothèse précédente d'un soulèvement plus ancien suivant cette partie des mêmes lignes directrices.

L'époque crétacée se divise aussi en deux périodes, dont la première est, à proprement parler, une continuation des précédentes. La mer revient lentement dans le nord occuper les espaces abandonnés ; le soulèvement des Vosges et de la Forêt Noire définit nettement pour la première fois la place du détroit de Langres, et les deltas de deux grands cours d'eau, la Tamise et l'Elbe crétacés, montrent par l'accumulation des sédiments fluviatiles, l'existence de deux zones allongées d'affaissement, l'une dans le Weald sur l'emplacement des anciens plis du sud de l'Angleterre, l'autre dans le Hanovre suivant une nouvelle dépression transversale :

La seconde période de l'époque crétacée inaugure à plusieurs points de vue une phase nouvelle dans l'histoire du globe ; c'est le moment où apparaissent les premières plantes à fleurs, et où, d'après une conclusion qui ne semble pas déraisonnable, on a pu supposer que le soleil a percé pour la première fois l'enveloppe continue de nuages répandus autour du globe ; c'est aussi le moment de la plus grande et la plus générale des transgressions marines, de celle qui la première a amené M. Suess à appeler l'attention sur ces phénomènes. Pour nos régions, c'est l'époque d'une accentuation énergique des mouvements dans les Pyrénées et dans les Alpes, avec formation de deltas torrentiels dans l'Ariège et dans la Provence ; c'est enfin celle où, pour la première fois, la mer arrive chez nous de l'ouest, où l'Atlantique entre en jeu dans notre histoire comme bassin marin et amène en Europe toute une faune nouvelle de Rudistes. Les Caprines remplissent le bassin de la Garonne et un golfe fermé dans la basse Provence ; les Hippurites pénètrent par la même voie sur les deux versants des Pyrénées, et remontent dans la vallée du Rhône jusqu'à la Drôme. Les études de M. Douvillé nous ont montré combien ces animaux ont une répartition limitée, en dépendance avec les conditions de gisement et la proximité des rivages ; on peut donc espérer que les détails de cette



répartition viendront encore souligner les principales lignes directrices; on peut dire dès maintenant que la pénétration des Rudistes en Bohême rend assez probable l'accentuation vers le sud de la dépression transversale de l'Elbe.

Il y a encore à noter à cette époque le premier développement du facies *flysch*, c'est-à-dire de puissantes accumulations de schistes et grès avec intercalations locales de poudingues, et sauf de rares exceptions, sans autres organismes marins que des fucoïdes. Cette apparition se fait au pied nord des Pyrénées occidentales, en avant des Alpes bavaoises et autrichiennes et dans les Carpathes, c'est-à-dire en différents points d'une même zone de plissements. Il se développe en même temps en Algérie et en Italie, marquant la place de la chaîne côtière de l'Atlas et de l'Apennin central, et on le retrouve en Bosnie et en Grèce, suivant les plis de la chaîne illyrienne.

On remarquera combien ces changements considérables ont, en somme, depuis l'effondrement de la chaîne paléozoïque, peu modifié et peu avancé l'évolution géographique de notre pays. Si l'on songe, en effet, que la mer du Crétacé supérieur a au moins recouvert toutes les Pyrénées centrales, que les dépôts saumâtres de la fin de l'étage ont passé par-dessus son extrémité orientale, qu'il faut presque nécessairement, si le gisement de Rudistes du col de Tende est confirmé, supposer une communication marine à travers les Alpes françaises ou apuanes, entre la plaine du Pô et la région de l'ouest, on verra que la ceinture montagneuse de la France méridionale s'est à peine dégagée par quelques îlots permanents; et au nord les seuls changements importants sont l'élévation des Vosges, avec la séparation de la Bretagne et du Plateau Central; le domaine de la mer ne se modifie que dans les détails; ce sont toujours les mêmes régions que, dans ses alternatives d'avancée et de recul, elle revient occuper, et les dépôts continuent à s'y faire dans des conditions analogues. Sauf en ce qui regarde la première mise en évidence d'une mer atlantique, il s'agit plutôt d'oscillations autour d'un équilibre transitoire que de grandes déformations permanentes. La période secondaire, comme on l'a dit depuis longtemps, est au moins pour l'Europe, en dépit de l'incessante mobilité du sol, une période de repos et de préparation.

Avec la période tertiaire, une ère nouvelle commence; dans l'évolution des faunes terrestres, comme dans celle des continents, tous les efforts mis longtemps en jeu sans résultats appréciables, aboutissent tout d'un coup et préparent rapidement l'état actuel. C'est d'abord la barrière, incomplètement établie par l'ancienne chaîne paléozoïque entre les deux moitiés de l'Europe, entre la Baltique et la Méditerranée,

qui, comme après le Jurassique, s'élève au-dessus des eaux et sépare les deux provinces; mais, cette fois, l'élévation est définitive et la limite devient permanente. La Manche s'ouvre, suivant un ancien synclinal, entre l'Atlantique et la mer du Nord, et les oscillations du sol n'établissent plus que des communications momentanées entre la France et l'Angleterre; notre nouvelle Baltique, partout bordée de lagunes plus ou moins dessalées, s'avance d'abord sur les bassins de la Seine et de la Tamise, où ses transgressions successives et où la composition de ses dépôts n'ont pas été mis encore dans un rapport bien net avec les oscillations du sol; dans un dernier effort, elle s'avance chez nous jusqu'au Plateau Central, jusqu'au pied des Alpes dans la vallée du Rhin, et couvre la plus grande partie de la Russie jusqu'aux plaines du Volga; mais elle rentre bientôt dans un lit voisin de son lit actuel et laisse la place aux vallées qui s'établissent, pour la plupart, dans les anciennes dépressions synclinales. La mer ne pénètre plus de nos côtés que par l'Atlantique, qui entre plus ou moins profondément à l'époque miocène dans les vallées de la Bretagne et dans celles de la Loire et de la Garonne.

Un dernier trait reste à noter pour cette partie septentrionale: au moment de la transgression oligocène, la mer est arrivée par ses prolongements lagunaires jusque dans les hautes vallées de la Loire et de l'Allier, et elle a même peut-être, par cette voie, établi une dernière communication avec la vallée du Rhône. Ces anciennes dépressions transversales se sont encore accentuées postérieurement, en rendant plus tranchée la séparation des bassins du Forez et de la Limagne.

Au sud, les mouvements sont plus importants: la période nummulitique commence par une régression générale, sur laquelle M. Munier-Chalmas a appelé l'attention: la mer ne subsiste plus que dans la Méditerranée ou dans les fossés qui s'approfondissent aux pieds de la grande chaîne alpine déjà émergée: MM. K'lian et Haug ont signalé dans l'Ubaye des plissements énergiques (bien que semblant jusqu'ici très limités en étendue), qu'on pourrait mettre en rapport avec cette régression. Un des golfes de l'Atlantique pénètre au nord des Pyrénées, prolongé jusqu'en Provence par des eaux saumâtres; un second golfe au sud arrive jusqu'à la mer tyrrhénienne, et, sans pénétrer dans la basse vallée du Rhône, s'allongeant suivant la même ligne directrice, il arrive pendant l'Éocène supérieur sur l'emplacement central des Alpes et se sépare en deux branches autour des massifs du Pelvoux et, du mont Blanc. Le facies *flysch* se développe, et sous la forme de poudingues de Palassou dans les Pyrénées, sous des formes plus variables dans les Alpes et les Carpathes, il embrasse et dessine sur

toute sa longueur l'emplacement de la chaîne ébauchée. C'est alors que des mouvements plus énergiques, sans aucun doute commencés, ainsi que le dit M. Schardt, pendant le dépôt du flysch, font se dresser la chaîne à l'état de montagnes permanentes et déterminent, des Corbières à l'extrémité de la Suisse, probablement même plus loin encore, en même temps que le surgissement d'ensemble, ces énormes déplacements horizontaux, à l'amplitude desquels on n'est pas encore arrivé à fixer une limite. La France a désormais sa frontière méridionale, qui ne fera plus que s'accroître, sauf en face de la vallée du Rhône.

Il y a là, en effet, une place spéciale, où nous pouvons seulement présumer que les mouvements ont été moins énergiques, la présence de la mer mettant obstacle à toute observation, mais où, en tout cas, comme cela est arrivé pour l'ancienne chaîne paléozoïque, ces mouvements n'ont pas produit d'élévation permanente. La mer oligocène, venant de la Méditerranée, arrive immédiatement sur notre littoral, où elle trouve la grande dépression nord-sud de la vallée du Rhône et de la Saône préparée par les érosions et coupant ainsi, dans son ensemble, un peu obliquement les plis successifs : ses prolongements lagunaires, continués peut-être par une série de lacs, y pénètrent largement au sud, s'étalant aussi dans les vallées de la Durance et de l'Huveaune, et montant au nord jusqu'à Dijon. Malgré la légère déviation locale amenée par l'érosion, les lignes directrices s'accroissent de nouveau dans le parcours de la mer miocène, qu'une coupure transversale, faisant à peu près suite à l'ancienne coupure de l'Elbe, laisse pénétrer, entre les Alpes et les Carpathes, dans le bassin de Vienne et dans les plaines de la Hongrie.

Un dernier effort orogénique, resté sans échos dans les Pyrénées, chasse la mer de cette dernière zone de pénétration et ajoute au pourtour des Alpes une nouvelle série de chaînons parallèles aux précédents : la mer de la Hongrie se retire sur l'emplacement de la mer Noire et de la Caspienne, en laissant derrière elle une série de lagunes et de lacs où pullulent les Paludines ; la Méditerranée, momentanément réduite à l'état de lac, pénètre encore en golfe dans la vallée du Rhône et dans celle du Pô. L'Europe actuelle est constituée, et une dernière période commence, avec laquelle on pourrait faire commencer l'époque actuelle, si on n'attachait pas une importance prépondérante à l'apparition de l'homme sur le globe.

Cette dernière période, par rapport à celles qui la précèdent, est caractérisée par ce fait que les mouvements importants ont cessé dans la région alpine, comme ils avaient cessé après l'ère primaire dans la région plus septentrionale, et qu'ils se concentrent dans la région

méditerranéenne. Ces mouvements, d'ailleurs, quoique n'étant pas de l'ordre orogénique, c'est-à-dire n'ayant pas fait surgir de nouvelle chaîne, sont comparables comme amplitude à ceux des périodes précédentes. Au début du Pliocène, le détroit du Gibraltar s'ouvre, et, à la fin du Pliocène, il s'approfondit assez pour laisser un moment passer les courants froids du fond de l'Atlantique. La mer Égée s'effondre et met la Méditerranée en communication avec la mer Noire. Le long des côtes de la Calabre et de la Sicile, le niveau relatif de la mer et de la terre a changé de plus de 1.000 mètres, et 400 mètres de ce déplacement sont attribuables à l'époque quaternaire. Enfin M. Munier-Chalmas pense, bien qu'on ne puisse le prouver, que le grand approfondissement des fosses méditerranéennes date de cette époque, et la faune de Mammifères de Malte et de l'île d'Elbe a fait admettre que ces îles avaient été reliées à l'Afrique.

Si, de plus, on comprend la dépression méditerranéenne dans un sens plus large, en la continuant, par les dépressions de l'Euphrate, de l'Indus et du Gange et les détroits de la Sonde d'une part, et de l'autre, par le golfe des Antilles et par-dessus la barrière volcanique de Panama, jusqu'aux bords du Pacifique, on doit signaler la possibilité de mouvements plus importants encore. Aux îles Barbades, on a trouvé des dépôts émergés, tout à fait semblables aux boues à Radiolaires rencontrées dans les sondages sous-marins, c'est-à-dire à des dépôts qui ne sont connus en voie de formation qu'à des profondeurs de 3 et 4.000 mètres. Les Radiolaires sont pareils aux formes vivantes, et avec eux on a trouvé un oursin, également rencontré dans les sondages à ces mêmes profondeurs. Un fait semblable est signalé à Sumatra, et, à moins de mettre en doute les résultats si précis des recherches du *Challenger*, il faut admettre là un déplacement vertical de plusieurs milliers de mètres. Un fait plus extraordinaire encore semblerait résulter des observations faites par M. Russell, aux pieds du mont Élie, sur les côtes de l'Alaska : des couches contenant la faune actuelle des mers voisines, non seulement se trouveraient relevées à près de 2.000 mètres de hauteur, mais encore plongeraient vers la montagne sous des couches plus anciennes. En tout cas, sur les côtes de Californie, les sédiments pliocènes sont en plusieurs points, avec les couches miocènes, relevés jusqu'à la verticale. Il faudrait en conclure que là, à l'ouest de l'Amérique, la période d'activité orogénique se continue encore, ou est du moins à peine terminée. En tout cas, on voit que ce serait une erreur profonde de croire notre globe entré dans une phase de repos. Sans doute nous ne sommes pas en état de relier et de coordonner les phénomènes dont je viens d'indiquer l'existence ;

dans leur ensemble seulement ils se groupent bien sur une des grandes lignes directrices du globe, et ils sont d'ordre comparable à ceux que nous pouvons suivre dans la région alpine à l'époque du Jurassique. La loi de recul des zones de mobilité maximum des régions polaires vers le continent équatorial se vérifie encore de nos jours, et le fait qu'on semble ainsi arrivé aujourd'hui aux bords de ce continent n'indique même pas un terme fatal de ce déplacement commencé et poursuivi depuis les premiers âges du globe : toute la région du Pacifique, toute la zone de l'immense éventail ouvert entre les Andes et les montagnes Rocheuses, ou, ce qui revient au même, entre les chaînes d'îles divergentes de la Mélanésie et de la côte asiatique, reste encore ouverte à de nouveaux mouvements, qui, bien que transportés sur des longitudes différentes, vérifieraient la même loi.

Une remarque curieuse est la sorte de récurrence qui semble, à l'époque quaternaire, avoir fait reparaître un écho affaibli de l'ancienne mobilité dans les régions polaires. Les terrasses marines et les autres traces du séjour de la mer à de grandes hauteurs au-dessus du niveau actuel se retrouvent dans toutes les régions qui entourent le pôle, et qui formaient soit l'ancien continent polaire, soit l'ancienne chaîne calédonienne; elles ne font guère défaut qu'au nord du Pacifique, et ne s'élèvent souvent qu'à 200 et même à 600 mètres d'altitude absolue. La submersion temporaire dont elles témoignent est postérieure à l'époque glaciaire, il nous est impossible de dire si un mouvement inverse, qui, comme tous les mouvements d'émersion, n'aurait pas laissé de traces, a pu être pour quelque chose dans la grande extension des glaciers polaires.

Entre ces deux régions, celle où nous vivons, celle de l'Europe centrale est, comme la région équatoriale, une zone de repos relatif. Il est permis cependant de croire qu'on peut arriver, là aussi, à étudier la continuation affaiblie des anciens mouvements. Une première méthode repose sur l'étude du tracé des vallées; M. le colonel de la Noé et M. de Margerie nous ont montré que ce tracé dépend de lois précises et que, pour beaucoup d'entre eux, nous pouvons arriver à reconstituer leur histoire, à suivre les progrès de leur creusement et les déviations de leurs cours. Ce tracé est quelquefois très simple, en relation seulement avec une dépression synclinale; le plus souvent il se compose d'éléments d'origine différente, toujours déterminés et reliés entre eux par la condition élémentaire de réunion des eaux dans les points bas et de leur écoulement par la ligne de plus grande pente. On peut trouver ainsi la preuve de mouvements du sol, sans lesquels le tracé, à une période de creusement moins avancé, serait incompi-

tible avec l'état des reliefs voisins. Comment ainsi la Meuse et le Rhin se sont-ils ouvert un canal sinueux à travers les plateaux de l'Ardenne, au lieu de s'écouler par des chemins qui nous semblent plus naturels et plus faciles? Dans certains cas, d'inégales dénudations de l'ensemble de la région peuvent fournir une explication; dans d'autres, il faut faire intervenir des élévations ou des affaissements. C'est ainsi qu'on a pu montrer, dans certains cas, que le travail d'érosion avait marché de pair avec le soulèvement d'une région, de la même manière que la sédimentation marche si souvent de pair avec l'affaissement des fonds marins. Cette étude, poussée déjà très loin en Amérique, est moins en faveur et moins avancée chez nous; mais on peut en attendre des résultats importants.

Une seconde méthode plus directe, quoique malheureusement encore inapplicable, reste à mentionner : c'est la comparaison de deux nivellements de précision faits à grand intervalle. C'est ainsi que le colonel Goulier, en comparant les résultats du nivellement actuel de la France et du nivellement de Bourdaloue, a cru pouvoir tracer pour une partie du pays des courbes d'égal affaissement. Les différences ne portent que sur des centimètres; il faut donc qu'il soit sûr d'une grande précision dans les observations. Or, c'est le contraire qui est vrai; on est sûr qu'il y a dans le nivellement de Bourdaloue des erreurs systématiques, comparables aux différences qu'on veut apprécier. Le colonel Goulier, avec sa grande expérience et son instinct très sûr des problèmes topographiques, a cru qu'on pouvait tenir compte de ces erreurs systématiques, et, dans l'essai qu'il a présenté avec les réserves nécessaires, il a déclaré que ces lignes ne semblaient montrer aucun rapport avec la structure géologique. M. Van den Broeck a été d'un avis contraire et a montré d'ingénieux rapprochements. Je crois, pour ma part, dans ces conditions, inutile d'essayer à mon tour une comparaison, qui, vu la nature des données, ne peut conduire à aucun résultat certain. Mais on peut espérer que le nivellement actuel pourra plus tard servir de base à une comparaison semblable; si les mouvements du sol sont de l'ordre qu'a admis le colonel Goulier, on pourra alors tracer avec certitude les courbes d'égal affaissement; on pourra voir si elles laissent se dessiner, à la surface, des rides plus ou moins alignées; on pourra voir si l'emplacement et la direction de ces rides sont conformes à nos lignes directrices. Il est permis de croire alors qu'on pourra vérifier, par des mesures précises, si notre continent, comme pour ma part je n'en doute pas, poursuit encore de nos jours sa lente évolution vers le but final, qui nous restera toujours inconnu.

En terminant, je ne me dissimule ni les nombreuses lacunes qui restent dans cet aperçu, ni l'incertitude et le vague de quelques-uns des rapprochements essayés. Il y a dans les pages qui précèdent plus de questions posées que de problèmes résolus. On ne peut s'en étonner; il faudrait se méfier d'une théorie qui nous apporterait tout d'un coup la solution, toute prête et toute tracée, des problèmes complexes de la Géologie. Les vérifications de détail sont nécessaires pour faire admettre complètement la loi de la récurrence perpétuelle des mouvements de l'écorce, pour voir dans quels cas elle est soumise à des exceptions à peu près inévitables et pour laisser juger de son degré de précision. Il me semble pourtant que, dans ce que nous connaissons déjà, les coïncidences sont trop nombreuses, les traits généraux s'accusent avec trop d'évidence, pour qu'on puisse croire à des hasards ou à des illusions. Nous ne sommes, d'ailleurs, pas loin du moment où une pareille étude pourra s'étendre, non seulement à l'Europe, mais à tout notre hémisphère et où la généralité des résultats offrira une nouvelle garantie de leur exactitude. En supposant que la loi énoncée ne doive nous fournir qu'un cadre provisoire de coordination, elle assure dans cette voie un progrès indubitable, et, si l'on peut lui contester encore un caractère de rigoureuse certitude, on ne peut se refuser à y voir un précieux instrument de recherche.
