

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE

DE FRANCE

TROISIÈME SÉRIE — TOME VINGT-HUITIÈME

1900



090 013643 3

PARIS

AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE

1900



LES GÉOSYNCLINAUX ET LES AIRES CONTINENTALES

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE

DES TRANSGRESSIONS ET DES RÉGRESSIONS MARINES

par M. **Emile HAUG.**

Les problèmes de la paléogéographie sont depuis longtemps au premier plan parmi les préoccupations des géologues. Il faut avouer d'ailleurs qu'il existe peu de questions dans lesquelles l'imagination a joué un rôle aussi prépondérant. Ce n'est que tout récemment que les reconstitutions des mers anciennes ont été tentées sur des bases sérieuses et avec l'érudition et l'esprit critique qu'il est nécessaire d'apporter à ce genre d'essais. Parmi les tentatives qui ont été faites dans les dernières années, il convient de citer en toute première ligne celles de M. Fritz Frech (1) pour les terrains paléozoïques, celles de M. de Lapparent (2), pour tous les terrains.

Le moment est peut-être venu de ne plus se contenter de reconstituer simplement les anciens rivages, mais de rechercher désormais les causes de la répartition des terres et des mers aux diverses époques. Les essais de reconstitutions paléogéographiques fourniront dans cet ordre de recherches un point de départ inappréciable. Les meilleurs résultats seront obtenus par les méthodes de la *géologie comparée*, qui étudie les chaînes de montagnes, les continents, les océans comme des organismes dont la structure obéit à des lois déterminées. De même que Georges Cuvier, le fondateur de l'anatomie comparée, reconstituait un être vivant avec quelques ossements, de même M. Eduard Suess (3), le fondateur de la géologie comparée, a pu évoquer l'histoire de tout un océan avec les

(1) *Lethæa Palæozoica*, t. II. Stuttgart, 1897-99.

(2) *Traité de Géologie*, 4^e édition. Paris, 1900.

(3) *Das Antlitz der Erde*. 2 vol. gr. in-8°. Prague 1883-88.

Je citerai ici toujours l'édition française, publiée sous la direction de M. Emm. de Margerie, sous le titre : *la Face de la Terre*. Paris, 1897 et 1900.

données sommaires que nous possédons sur la charpente de quelques îles lointaines ; tandis que d'autres fragments lui ont permis de reconstituer des continents.

Préoccupé de dégager les lois qui président à la répartition des terres et des mers aux époques successives de l'histoire du globe, je me suis attaché à montrer que l'emplacement des lignes de rivage n'a qu'une importance secondaire, qu'il est nécessaire avant tout de bien connaître la situation des masses continentales et celle des dépressions profondes. J'ai été conduit ainsi à étudier le rôle, souvent méconnu, de celles de ces dépressions que l'on a désignées sous le nom de *géosynclinaux* et cette étude forme la première partie du présent mémoire. Dans une seconde partie, je me suis efforcé de mettre en évidence la permanence — jusqu'à une époque relativement récente — des anciennes *masses continentales*. La troisième partie, enfin, est consacrée au problème même que j'avais abordé, la recherche des causes des grands changements dans la position respective des terres et des mers ; j'y étudie les *transgressions* et les *régressions* et les lois qui les régissent.

PREMIÈRE PARTIE. — Les Géosynclinaux

I. — Notions générales

DÉFINITION. — La notion du géosynclinal est due incontestablement à James Hall (1). C'est en effet cet illustre paléontologiste qui, après avoir expliqué l'accumulation énorme des sédiments suivant certains zones de la surface terrestre par un affaissement graduel du fond de la mer, montra, dès 1859, que la « ligne de plus grande dépression » coïncide avec la « ligne de plus grande accumulation », établissant ainsi la proportionnalité, en chaque point, de l'épaisseur des sédiments avec l'affaissement du sol. Il admettait également que l'affaissement de la masse des sédiments donne lieu à la production d'un « grand axe synclinal ». C'est à ce plissement concave de l'écorce terrestre que Dana donna en 1875 (2) le nom de « géosynclinal ». Il en attribuait d'ailleurs avec raison la formation, non pas, comme le faisait Hall, au poids des sédiments, mais à la compression latérale.

En même temps qu'il indiquait le mécanisme de l'accumulation,

(1) James HALL. *Natural History of New-York, Palaeontology*. Vol. III, p. 70. Albany. 1839.

(2) James D. DANA. *Manual of Geology*. 2^d edit., p. 748.

James Hall arrivait à une constatation qui devenait en quelque sorte la base des théories orogéniques ultérieures ; il montrait que l'emplacement des régions de plissement coïncide avec les zones d'épaisseur maximum des sédiments. On a souvent donné à cette loi la forme suivante : les chaînes de montagnes se forment sur l'emplacement des géosynclinaux.

L'exemple classique est la chaîne des Appalaches, dans laquelle les plissements ont affecté une épaisseur de sédiments que les géologues américains évaluent à 40000 pieds. Dans l'Himalaya central, M. Diener (1) estime, d'après les observations de M. Griesbach, que les dépôts successifs, accumulés en un même point, atteignent une puissance de 900 à 14000 pieds, sans qu'aucune discordance importante vienne indiquer une grande interruption dans la sédimentation. Dans les Alpes occidentales on pourrait trouver des épaisseurs de même ordre.

CARACTÈRE BATHYMÉTRIQUE DES GÉOSYNCLINAUX. — Tout en faisant d'expresses réserves sur la relation de cause à effet qui existe entre les plissements et la formation des géosynclinaux, M. Suess était conduit en 1875 (2) à une autre constatation, qui complète dans une certaine mesure le principe énoncé par James Hall et que l'on peut formuler ainsi : Dans les régions plissées la série sédimentaire est généralement complète et possède un caractère « pélagique » ; dans les régions tranquilles, au contraire, elle présente souvent des lacunes ou des intercalations de dépôts saumâtres. Le Trias, le Portlandien fournissent à l'appui de cette règle des exemples bien connus.

Il existe en apparence une certaine contradiction entre le principe de James Hall et cette constatation capitale faite par M. Suess.

En effet, les auteurs américains, et James Hall lui-même, ont souvent insisté avec beaucoup de force sur le caractère littoral ou tout au moins « peu profond » (shallow) des sédiments accumulés dans les géosynclinaux ; d'autre part, M. Suess entend par dépôts « pélagiques » des dépôts de mer relativement profonde et Neumayr allait jusqu'à considérer comme « abyssaux » certains dépôts jurassiques de la région alpine.

Il y a évidemment exagération de part et d'autre. Si, dans les Appalaches, la base de la série plissée (Cambrien et Silurien) est grossièrement détritique et indique des eaux très peu profondes, s'il en est de même de la partie supérieure (Carbonifère), la partie

(1) In E. SUSS. Are great ocean depths permanent. *Nat. Science*, vol. II, p. 184.

(2) Eduard SUSS. Die Entstehung der Alpen. Vienne, 1875, p. 98.

moyenne (Dévonien moyen et supérieur) s'est certainement déposée dans une mer d'une profondeur relativement considérable. En ce qui concerne, d'autre part, les prétendus dépôts « abyssaux » des Alpes orientales, les calcaires siliceux à Radiolaires du Jurassique et du Néocomien, que Neumayr (1) a comparés aux vases à Radiolaires des grands fonds actuels, M. Johannes Walther (2) a montré que les deux formations n'ont certainement pas la même origine et, quant à l'assimilation de la craie blanche aux boues à Globigérines, M. Cayeux et M. Walther en ont l'un et l'autre fait justice (3).

Pour ma part, je suis arrivé au résultat que les géosynclinaux correspondent, dans la plus grande majorité des cas, à des mers relativement profondes, mais non abyssales. Il est nécessaire d'adopter un terme non équivoque pour désigner la zone bathymétrique comprise entre la zone abyssale proprement dite et la zone peu profonde, que l'on appelle quelquefois à tort « zone littorale ». J'ai proposé pour la « zone peu profonde » le nom de *zone néritique* (4), faute d'un terme correspondant, dans notre langue, au « shallow water » des Anglais, au « Seichtwasser » des Allemands, et, en attendant une désignation plus significative, j'ai appelé, avec M. Renevier, *zone bathyale* la zone intermédiaire entre la zone néritique et la zone abyssale et je lui assigne comme limites extrêmes les isobathes de 80 ou 100 mètres et de 900 mètres.

Les courants marins de surface peuvent, dans les mers actuelles, se faire sentir dans toute la profondeur de cette zone. La température y est à peu près constante et les êtres qui l'habitent sont essentiellement sténothermes. La lumière ne pénètre que faiblement dans ses couches supérieures et l'action chlorophyllienne y est nulle, de sorte que les Algues et les animaux herbivores y font défaut. La faune est constituée surtout par des carnivores et par des mangeurs de boue ou limivores, qui se nourrissent de la vase organique, résultant de l'accumulation des cadavres d'animaux vivants à la surface des eaux. Les coquilles ornées sont plus rares et les colorations sont moins vives et moins variées que dans la zone néritique.

(1) M. NEUMAYR. *Erdgeschichte*, t. I, p. 364.

(2) J. WALTHER. Ueber die Lebensweise fossiler Meeresthiere, *Zeitschr. d. D. geol. Ges.*, vol. XLIX, p. 214, 1897.

(3) Je ne dirai rien de l'attribution, par M. Renevier, des argiles rutilantes garumniennes au « type abyssal » (*Chronographe géologique*, p. 551), qui n'a fort heureusement guère trouvé d'écho.

(4) *Revue annuelle de Géologie. Revue gén. des Sciences*, 30 Juin 1898, p. 496

C'est dans la zone bathyale que se déposent surtout les boues terrigènes et en particulier les boues bleues riches en matière organique et en sulfures.

Sur le passage des grands courants marins, toutefois, le fond est balayé et certains êtres benthoniques, qui évitent les fonds vaseux, y présentent une richesse d'individus et une variété de formes remarquables, grâce à l'abondante nourriture fournie par le plankton de surface.

Parmi les formations géologiques il en est un grand nombre qui, sans aucun doute, se sont déposées dans la zone bathyale et ce sont précisément celles qui, dans la plus large mesure, prennent part à la constitution des géosynclinaux.

Ce sont les schistes à Graptolithes, les schistes à Posidonomyes, les argiles à Dentales, les schistes, les marnes, les calcaires compacts ou noduleux à Ammonites, les marnes à Pleurotomes, etc.

Les calcaires rouges à Ammonites, les schistes à *Aptychus* semblent s'être formés dans les mêmes conditions bathymétriques, mais dans des fonds où les vases étaient balayées et où l'absence d'affaissement empêchait l'accumulation d'une masse puissante de sédiments.

Les formations dont il vient d'être question ont souvent reçu la dénomination de « faciès pélagiques », qui ne peut que prêter à confusion et évoquer des idées fausses sur le genre de vie des êtres qui y ont laissé leurs restes. On sait, en effet, que M. Murray groupe les sédiments des mers actuelles, d'après leur mode de formation, en « dépôts pélagiques » et « dépôts terrigènes ». Les premiers comprennent « ceux qui sont formés vers le centre des grands océans et qui sont composés principalement des restes d'organismes pélagiques, associés aux produits ultimes de la décomposition des roches et des minéraux » (1). Or, les sédiments de la zone bathyale ne répondent nullement à cette définition et rentrent pour la plupart dans la catégorie des dépôts terrigènes. Malgré cet inconvénient, le terme de « faciès pélagique » pouvait être appliqué à bon droit à des sédiments riches en Ammonites, tant que les idées anciennes sur le genre de vie pélagique des Céphalopodes secondaires régnaient encore sans contestation. Dans l'état actuel de nos connaissances, il ne semble plus que ces Mollusques puissent être envisagés comme des animaux bons nageurs vivant à la surface des mers, à la manière de l'Argonaute. Comme la Spirule et le

(1) JOHN MURRAY and A.-F. RENARD. Report on deep-sea deposits. *Report on the Scient. Res. of the voyage of H. M. S. Challenger*, p. 185, 1891.

Nautile, ils devaient vivre dans le voisinage du fond et faisaient partie du « Benthos ». A part les cas, plutôt rares, où les coquilles des Ammonites flottaient après la mort de l'animal et se trouvaient charriées par les courants dans les régions littorales, comme l'admettait Alcide d'Orbigny (1), il semble bien que, le plus souvent, les Ammonites aient vécu sur les fonds vaseux, là même où nous trouvons actuellement leurs coquilles. Outre que le bel état de conservation du péristome et des ornements les plus délicats, dans certains gisements, se comprend mal dans l'hypothèse d'un flottage, on ne peut expliquer l'association, en un même point, de nombreuses variations individuelles et d'individus de tout âge d'une même espèce qu'en admettant la vie collective dans le voisinage du fond. La plupart des Bélemnites et les Nautiles paraissent avoir vécu en général à des profondeurs moindres que les Ammonites, dans les parties profondes de la zone néritique, et, parmi les différents genres d'Ammonites, les uns, comme *Trachyceras*, *Reineckeia*, *Hoplites*, etc., étaient vraisemblablement eurythermes, c'est-à-dire qu'ils supportaient d'assez grandes variations de température, et pouvaient vivre à des profondeurs variables, tandis que d'autres, et en particulier *Phylloceras* et *Lytoceras*, étaient sténothermes, se trouvaient liés à une température constante et ne pouvaient, par conséquent, vivre que dans la zone bathyale ; ils caractérisent les parties profondes des géosynclinaux, tandis que dans les parties moins profondes, sublittorales, vivaient exclusivement les genres eurythermes. Ainsi s'explique le contraste entre la « province de l'Europe centrale » et la « province méditerranéenne », qui, en réalité, correspondent à la zone néritique et à la zone bathyale d'une même province zoologique (2).

L'analogie est grande, d'ailleurs, entre le mode de répartition des fossiles dans les argiles ou marnes à Céphalopodes du Secondaire et la distribution des animaux sur les fonds argileux de la zone bathyale des mers actuelles. Dans les deux cas, les êtres vivants se rencontrent d'une manière tout à fait sporadique. Les localités où ils sont abondants sont souvent séparées par de vastes régions où la

(1) Cours élémentaire de Paléontologie, t. I, p. 85, 1849.

(2) M. Pompeckj et moi nous sommes arrivés indépendamment l'un de l'autre à cette interprétation, que nous avons publiée à quelques semaines d'intervalle. M. Pompeckj l'a donnée d'abord à propos du Lias d'Anatolie (Palæontologische und stratigraphische Notizen aus Anatolien. *Zeitschr. d. D. geol. Ges.*, vol. XLIX, p. 826, 1898). J'ai été conduit au même résultat pour le Jurassique supérieur et pour le Néocomien en me basant en partie sur des observations de M. Kilian (V. Revue annuelle de Géologie. *Revue gén. des Sciences*, 30 Juin 1898, p. 497).

vie est presque absente et, dans ces localités, c'est fréquemment une espèce qui prédomine à l'exclusion des autres.

Si les caractères paléontologiques parlent en faveur de l'attribution des dépôts des géosynclinaux à une zone bathymétrique relativement profonde, il en est de même des caractères lithologiques. Toutes les fois que l'on peut suivre les modifications qu'accusent les sédiments d'un géosynclinal dans le sens perpendiculaire à l'axe, c'est-à-dire à la ligne de plus grande épaisseur, on constate d'abord un amincissement graduel, puis un passage latéral, brusque ou ménagé par des alternances multiples, à des sédiments qui se sont déposés dans des eaux moins profondes, dans la zone néritique. Je rappellerai un exemple que j'ai étudié moi-même (1).

Dans la partie alpine du bassin du Rhône, le Lias présente deux faciès bien distincts : un faciès vaseux, que j'ai appelé le *faciès dauphinois* et qui se développe tout le long d'une ligne parallèle à la direction générale des plissements, et un faciès de calcaires zoogènes, à éléments détritiques, que j'ai appelé, suivant les cas, *faciès dauphinois*, *rhodanien* ou *briançonnais* et qui borde de part et d'autre la bande formée par le précédent. Le faciès dauphinois présente tous les caractères lithologiques et paléontologiques du type bathyal, il s'est déposé dans un géosynclinal et ses sédiments atteignent souvent un millier de mètres d'épaisseur.

Le faciès de calcaires zoogènes, qui, aux environs de Digne, présente des alternances multiples avec le faciès dauphinois, appartient à la région néritique. Vers la Basse-Provence, les calcaires à Gryphées du Lias inférieur diminuent graduellement d'épaisseur et disparaissent entièrement à l'approche du massif des Maures, qui constituait une terre émergée.

Dans cette même zone sublittorale, les calcaires spathiques et siliceux du Lias moyen prennent un grand développement. Des « bancs-limite » ou « hard grounds » se rencontrent à plusieurs niveaux. Sur l'autre bord du géosynclinal, dans la zone du Briançonnais, le Lias subit des modifications analogues. M. Kilian y a signalé en outre des calcaires coralligènes. Ailleurs même le Lias fait entièrement défaut, le Tithonique reposant immédiatement sur les calcaires triasiques. Le haut fond et les îles qui occupaient, au Lias, une partie de la zone du Briançonnais, séparent le géosynclinal dauphinois du géosynclinal piémontais, qui est formé par l'énorme accumulation des Schistes Lustrés liasiques et dont le

(1) Les Chatnes Subalpines entre Gap et Digne, p. 35. *Bull. Serv. Carte géol.*, n° 21, 1891.

bord oriental est inconnu. En ce qui concerne le géosynclinal dauphinois, il est incontestable que sa partie médiane, où l'accumulation des sédiments atteignait son maximum, était la partie la plus éloignée des rivages. *C'était aussi la partie la plus profonde.*

En effet, il est évident a priori que, si l'épaisseur des sédiments est proportionnelle à la quantité dont le géosynclinal s'affaisse, le maximum de la profondeur des eaux se trouvera là où l'affaissement aura été le plus considérable et devra par conséquent coïncider avec l'endroit où les couches atteindront leur maximum d'épaisseur.

Pour expliquer des accumulations de sédiments qui, sur des hauteurs énormes, conservent les mêmes caractères lithologiques, il faut supposer nécessairement que l'équilibre entre la vitesse d'affaissement du fond et la vitesse de la sédimentation soit réalisé d'une manière à peu près parfaite. Si l'affaissement avait lieu avec une trop grande lenteur, le géosynclinal ne tarderait pas à se combler. C'est ce qui se produit constamment dans le Bassin de Paris, à l'époque tertiaire, et c'est ce qui tend à se produire dans tous les géosynclinaux de faible profondeur, comme celui du Silurien des Appalaches ou comme celui du Silurien du Massif Armoricaïn, par exemple, où des intercalations de grès grossiers viennent sans cesse interrompre la régularité de la sédimentation vaseuse.

Dans les géosynclinaux qui possèdent une certaine profondeur, par contre, même lorsque l'intensité de l'affaissement n'est pas toujours rigoureusement proportionnelle à l'intensité de la sédimentation, le comblement ne se produira que si la disproportion des deux facteurs est par trop considérable en faveur du deuxième.

A une certaine profondeur, des oscillations qui maintiendront le fond dans les limites de la zone bathyale n'amèneront aucune modification dans la nature des sédiments déposés, aussi les dépôts n'offriront-ils que de faibles variations dans le sens vertical et cela sur des épaisseurs souvent très considérables. C'est là encore une raison de plus pour attribuer à un grand nombre de géosynclinaux une profondeur relativement grande. Pour d'autres géosynclinaux, pour peu que les caractères lithologiques et paléontologiques des dépôts donnent des indications dans ce sens, je suis tout prêt, je le répète, à admettre que la sédimentation s'est effectuée dans des eaux très peu profondes, voire même dans des eaux douces, comme par exemple dans le cas des dépôts tertiaires du géosynclinal des Montagnes Rocheuses.

On a remarqué depuis longtemps que les chaînes de montagnes ne peuvent presque jamais être formées par une série unique de

terrains concordants; le plus souvent une chaîne comprend, comme on sait, plusieurs séries discordantes, ou tout au moins séparées par des lacunes, et le cas est fréquent, où chacune de ces séries correspond à une très grande épaisseur de couches, déposées dans autant de géosynclinaux superposés. Dans une même chaîne, les axes des géosynclinaux successifs peuvent coïncider, mais ne coïncident pas nécessairement, et l'on peut admettre que, lorsque trois séries discordantes sont superposées, comme par exemple dans le système alpin, c'est la série inférieure ou la série moyenne, rarement la série supérieure, dont les dépôts accusent le plus nettement le caractère bathyal.

Ainsi, dans les Alpes occidentales, et en particulier dans la région située entre les massifs du Pelvoux et du Mercantour, trouve-t-on en superposition trois séries discordantes entre elles: 1° des schistes métamorphisés d'âge paléozoïque; 2° toute la série secondaire concordante, débutant par le Trias lagunaire ou néritique et comprenant ensuite tout le Jurassique et tout le Crétacé à l'état vaseux ou calcaréo-vaseux, avec faunes de la zone bathyale; 3° les schistes azoïques du Priabonien, recouverts en concordance par des grès oligocènes. Chacun de ces trois termes s'est déposé dans un géosynclinal, comme l'attestent les épaisseurs énormes et l'uniformité des sédiments dans le sens vertical. C'est pour le Jurassique et le Crétacé seulement que l'on peut affirmer le caractère bathyal.

Je citerai encore l'exemple des chaînes californiennes, où la superposition d'au moins trois séries extrêmement puissantes, constituées par des terrains concordants et discordants entre elles a été mise en évidence par les récents travaux d'une pléiade de géologues éminents. La série inférieure, aurifère, fortement métamorphisée, comprend peut-être tout le Paléozoïque, le Trias du type alpin et le Jurassique inférieur et moyen (1); la série moyenne, dépassant quelquefois 10.000 mètres d'épaisseur, débute par le Tithonique (Knoxville beds, p. p.), comprend tout le Crétacé et supporte en concordance les couches éocènes de Tejon, qui sont séparées par une lacune du Sénonien supérieur (Chico); la série supérieure gréseuse correspond au Miocène. C'est dans la série inférieure seulement que l'on rencontre des sédiments appartenant incontestablement à la zone bathyale; dans la série moyenne, il est

(1) Il semble d'ailleurs que les formations géologiques qui prennent part à la constitution de la Coast Range, d'une part, et de la Sierra Nevada, de l'autre, ne sont pas toujours les mêmes ou que tout au moins les deux chaînes renferment des faciès différents.

probable que, au moins temporairement, le géosynclinal possédait une certaine profondeur, comme l'atteste la présence des genres *Phylloceras* et *Lytoceras*, quoique la tendance fréquente au comblement soit indiquée par plusieurs intercalations de conglomérats et de grès dans l'immense épaisseur des schistes.

RELATIONS ENTRE LES GÉOSYNCLINAUX ET LES PLISSEMENTS. — Les relations entre les géosynclinaux et les plissements sont de deux ordres : celles qui existent entre le géosynclinal et les plissements ultérieurs ; celles qui existent entre le géosynclinal et les plissements antérieurs à sa formation.

Nous avons vu que c'est James Hall qui, le premier, a montré que les plissements prennent naissance sur l'emplacement des géosynclinaux. C'est au même auteur (1) qu'est due également la notion de la formation des plis en profondeur et de l'indépendance complète de l'altitude des montagnes et du phénomène de plissement.

Le premier pas dans la formation de plissements sur l'emplacement d'un géosynclinal est la naissance d'un anticlinal ou géanticlinal médian, qui divise le géosynclinal primitif en deux géosynclinaux secondaires. C'est du moins ce qui a lieu dans deux cas qui ont plus particulièrement attiré mon attention, dans les Préalpes du Chablais et de la Suisse romande et dans les Alpes du Dauphiné.

Dans les deux cas, le géosynclinal médian existe dès le Lias. On le voit persister pendant la plus grande partie de la période secondaire et c'est lui qui constituera l'axe médian des plissements ultérieurs, c'est-à-dire la ligne de part et d'autre de laquelle les plis se déverseront en sens inverse, de manière à former un éventail composé.

Je ne veux nullement prétendre qu'une ride naissant dans l'axe d'un géosynclinal jouera toujours ce même rôle tectonique, mais je me demande si, inversement, la disposition en éventail composé, que présentent beaucoup de chaînes ou parties de chaînes, n'est pas due précisément à l'existence, antérieurement au plissement principal, d'un géanticlinal séparant deux géosynclinaux. Ainsi s'expliqueraient peut-être les nombreuses exceptions à la loi des poussées unilatérales, que M. Suess a formulée dès 1875 et dont il

(1) *Loc. cit.*, p. 72 : « It nowhere appears that this folding or plication has contributed to the altitude of mountains. . . It is possible that the suggestion may be made, that if the folding and plication be the result of a sinking or depression of the mass, then these wrinkles would be removed on the subsequent elevation ; and the beds might assume, in a degree at least, their original position. But this is not the mode of elevation. The elevation has been one of continental, and not of local origin. . . ».

recherche depuis, dans d'admirables synthèses a vérification sur la Terre entière.

Dans tous les cas, il n'est pas possible d'invoquer le bassin houiller du Nord comme un exemple contraire à cette interprétation des massifs en éventail. La « crête du Condroz » constitue, il est vrai, une ride qui sépare deux géosynclinaux et qui ne devient pas plus tard l'axe tectonique de la région. D'après les travaux classiques de M. Gosselet, elle naît sur le bord septentrional du géosynclinal coblentzien et sépare, à partir du Givétien, le bassin de Dinant du bassin de Namur, et l'on sait que, vers la fin de l'époque carbonifère, lors du « ridement du Hainaut », le Dévonien de la crête anticlinale du Condroz fut poussé par-dessus le bassin houiller de Namur. Or, ce bassin est de formation beaucoup plus récente que le bassin de Dinant, qui constituait un géosynclinal pendant toute la période dévonienne, et ce n'est pas dans l'axe, mais sur le bord septentrional de ce géosynclinal, qu'est née la crête du Condroz ; dès lors on ne peut s'étonner qu'elle ne soit pas devenue l'axe d'un éventail.



Je n'ai pas l'intention d'étudier ici le mécanisme du plissement et je me bornerai à la constatation de certains faits.

On remarque, dans des cas très nombreux, qu'il existe un parallélisme plus ou moins parfait entre les axes des plis et les axes des géosynclinaux multiples ou du géosynclinal simple, dont la formation a précédé la phase de plissement.

L'un des meilleurs exemples de ce parallélisme nous est encore fourni par la région des Préalpes du Chablais et de la Suisse romande, où l'on a pu établir depuis longtemps la constance du faciès dans toute la longueur d'un même pli et les variations brusques, lorsque l'on passe d'un pli à un autre pli parallèle. Comme les limites des faciès sont à peu près parallèles aux axes des deux géosynclinaux, il en résulte que les plis sont parallèles à ces axes.

Dans le Massif Armoricain des faits tout à fait semblables ont été mis évidence par les travaux de M. Charles Barrois et de M. D.-P. Oehlert.

Les cas de non-parallélisme entre les axes des plis et l'axe du géosynclinal préexistant sont plus rares, mais on peut néanmoins en citer quelques-uns.

J'ai déjà insisté maintes fois sur le fait que, dans certaines parties

des Alpes, les zones tectoniques ne coïncident pas exactement avec les zones de sédimentation. Je ne ferai mention ici que de l'exemple le plus frappant.

Depuis les environs d'Albertville (Savoie) jusqu'au lac des Quatre-Cantons, et peut-être même plus à l'est, on suit sans interruption une bande de Valanginien à faciès vaseux, avec Ammonites pyriteuses, parallèle à la direction générale de la chaîne et comprise, au moins à partir du Rhône, entre deux régions où le Valanginien est calcaire et appartient à la zone néritique. La bande vaseuse, qui constitue évidemment l'axe d'un géosynclinal, est, à maintes reprises, coupée très obliquement par des plis qui tendent à prendre une direction N.-S. et qui se relaient successivement dans leur rôle de plis extérieurs de la zone des Hautes Chaînes calcaires.

* * *

Dans l'étude des relations entre un géosynclinal et les plissements antérieurs à sa formation, nous avons également à envisager le cas du parallélisme des axes et celui du non-parallélisme.

On peut toujours supposer que la formation d'un géosynclinal déterminé a été précédée d'une phase orogénique plus ancienne, suivie de la transformation de la région plissée en pénéplaine et d'une invasion marine. Dans la nouvelle phase de sédimentation, les sédiments sont d'abord grossièrement détritiques et, si le fond demeure horizontal, le caractère des dépôts restera généralement néritique, comme dans les plateformes submergées ; mais il pourra se produire une courbure synclinale du fond, qui pourra devenir un géosynclinal, avec ses sédiments caractéristiques. On sait aujourd'hui que, dans un très grand nombre de cas, l'axe du nouveau géosynclinal sera grossièrement parallèle à l'axe des anciens plis et que, par suite, le plus souvent, les plis qui se formeront dans ce géosynclinal coïncideront comme emplacement avec ceux de la première phase orogénique. C'est à Godwin-Austen que revient le mérite d'avoir dégagé, dès 1856, cette dernière loi que M. Marcel Bertrand a formulée de la manière suivante : « Les plis se reproduisent toujours aux mêmes places » (1).

Les cas où cette coïncidence se vérifie sont si connus que je m'abstiendrai d'examiner en détail des exemples particuliers. Il

(1) V. En particulier : Marcel BERTRAND, Sur le raccordement des bassins houillers du Nord de la France et du Sud de l'Angleterre. *Ann. des Mines*, janvier 1893, p. 12 et suiv.

suffira de rappeler la superposition, dans l'Ardenne, du géosynclinal dévonien aux plissements antédévoniens, la coïncidence des plissements paléozoïques et des plissements crétacés et tertiaires dans les Alpes orientales, etc. Souvent le parallélisme de l'ancienne et de la nouvelle chaîne se traduit à première vue, non par une superposition, dont la constatation nécessite une analyse très détaillée, mais par une juxtaposition.

Partant de ces données, on peut se demander si, dans les mers actuelles, il n'existe pas des dépressions que l'on puisse assimiler à des géosynclinaux. Certes la constatation directe de l'approfondissement graduel et de l'accumulation simultanée des sédiments fera toujours défaut, mais, en se basant sur le parallélisme de la ligne de plus grande profondeur avec les rivages et avec les plissements des régions côtières, on pourra envisager certains détroits, certains golfes comme de véritables géosynclinaux. La Manche occidentale, le canal de Mozambique, le détroit de Malacca, le golfe Persique pourront peut-être recevoir cette interprétation.

Mais il est également des cas très nombreux où la direction de l'axe du nouveau géosynclinal est totalement différente de celle des plissements antérieurs.

C'est encore dans la chaîne des Alpes que je prendrai un exemple.

Laissant de côté les régions alpines assez nombreuses où des plis d'âges différents viennent se croiser sous des angles variables, je ne retiendrai ici qu'un seul cas, qui intéresse la question des géosynclinaux, c'est celui du Dévoluy, où, d'après les observations de M. Pierre Lory, la formation de plissements S.O.-N.E. antésénoniens a été suivie de la formation d'un géosynclinal sénonien, dont l'axe, de même que celui des plissements subséquents, est dirigé à peu près N.O.-S.E. De même, M. Barrois a signalé, dans les Asturies, la superposition de plissements dirigés O.-E., antépermieniens, et de plissements dirigés N.-S., postérieurs à l'Eocène. Chacune de ces phases de plissement est précédée par des *ondulations* suivant les mêmes directions respectives.

La péninsule Ibérique nous fournit encore un second exemple de divergences analogues : le géosynclinal des terrains secondaires et tertiaires d'Andalousie et les plis correspondants qui constituent la chaîne Bétique ont leurs axes dirigés à peu près O.S.O.-E.N.E., tandis qu'au delà du Guadalquivir les plis anciens de la Meseta sont dirigés N.O.-S.E., et semblent plonger sous la chaîne Ibérique.

De même, les plis anciens du Massif Central semblent passer sous les plis tertiaires du Jura, en les coupant presque à angle droit.

J'emprunterai un dernier exemple aux travaux récents qui ont été publiés sur la Dobrogea (Dobroudja) et sur les Carpathes roumaines. On sait, depuis les explorations de Peters, que, dans la première de ces régions, les plis, d'âge antétriasique, sont dirigés du S.E. au N.O. ; c'est cette même direction, qui est jalonnée par les gisements roumains du Trias, caractérisés, depuis la Bukovine jusque dans la Dobrogea, par le caractère « alpin » (faciès de Hallstatt) des dépôts triasiques moyens. Au Jurassique, au Crétacé et à l'Eocène, le géosynclinal carpathique avait une allure toute différente, il contournait la Dobrogea et la plaine actuelle du Bas-Danube et les plis posttertiaires décrivent la même sinuosité.

Si j'ai rappelé ces quelques exemples de non-coïncidence entre le dessin des géosynclinaux à des époques successives, c'est moins pour mettre en relief ces exceptions à la loi générale que pour montrer précisément leur caractère exceptionnel. Il ne s'agit pas, en effet, de grandes variations dans l'emplacement des géosynclinaux, ce sont de simples variations dans le degré de sinuosité que nous avons constatées. On peut affirmer, en ce qui concerne le système alpin, que le tracé des géosynclinaux et des plis formés sur leur emplacement est allé en se compliquant graduellement depuis les temps primaires jusqu'à l'époque des plissements de la fin du Miocène, mais que la situation de la région en voie de plissement, prise dans son ensemble, n'a pas varié.

SITUATION DES GÉOSYNCLINAUX PAR RAPPORT AUX MASSES CONTINENTALES.

— Les auteurs américains, auxquels est due la notion du géosynclinal, ont toujours pris comme point de départ de leurs théories orogéniques l'idée fondamentale que les chaînes de montagnes se forment sur le bord des *océans* et que les continents s'accroissent par addition de chaînes nouvelles de plus en plus récentes. Dans cette hypothèse, les géosynclinaux prendraient naissance à la limite des continents et des océans, les sédiments qui s'y accumulent seraient exclusivement des sédiments littoraux et la zone d'affaissement où s'opère la sédimentation intensive serait séparée de la haute mer par un simple bourrelet.

Il est facile de démontrer que ce n'est pas dans ces conditions que se forment les géosynclinaux et que, loin de prendre naissance sur le bord des continents, à la limite des océans, ils sont toujours situés entre deux masses continentales et constituent des zones mobiles, comprises entre deux masses relativement stables. Il suffira de quelques exemples pour s'en convaincre.

La plus gigantesque chaîne de montagnes du Globe, l'Himalaya, correspond à un vaste géosynclinal, où les sédiments atteignent d'immenses épaisseurs. Ni au Paléozoïque, ni au Secondaire, les dépôts n'y présentent un caractère *littoral* et, à aucun moment, cette région ne s'est trouvée située sur le bord d'un grand océan. On peut bien admettre que des chaînes de plus en plus récentes se sont ajoutées successivement vers le sud au continent extrêmement ancien de l'Asie centrale et que l'Himalaya est la dernière formée; mais toujours cette bande si mobile de l'écorce terrestre se trouvait limitée au sud par une région stable, l'Inde péninsulaire, fragment d'un continent beaucoup plus étendu.

De même, les chaînes de l'Europe centrale, plissées à la fin de l'ère paléozoïque et vers la fin de l'ère tertiaire, prises dans leur ensemble, sont situées entre les chaînes plus anciennes de l'Europe septentrionale et l'ancien continent africain. Ici, comme en Asie, les conditions que suppose la théorie des géologues américains ne se trouvent pas réalisées. Il en sera de même si nous envisageons les chaînes de l'Europe dans le détail. Les Pyrénées sont comme écrasées entre le Massif Central de la France et la Meseta Ibérique; les Carpathes sont refoulées sur la Plateforme Russe et leur arrière-pays est également constitué par des massifs anciens; le rameau dinarique s'intercale entre la « terre orientale » de Mojsisovics et le massif adriatique, dont le Monte Gargano est un fragment; l'Atlas est de même pincé entre le vieux continent africain et la chaîne cristalline de la côte, aujourd'hui en grande partie effondrée sous la Méditerranée. Dans tous ces exemples, bien connus d'ailleurs, la chaîne plissée correspond toujours à un géosynclinal. Les zones mobiles, déprimées, forment autant de chenaux sinueux qui contourment les noyaux d'ancienne consolidation.

Mais la position du géosynclinal des Appalaches n'indique pas davantage qu'on se trouve en présence de la zone côtière d'un océan. Les géologues américains sont d'accord pour admettre que le « Piedmont Plateau », chaîne archéenne, qui s'étend de l'Hudson à l'Alabama parallèlement à la côte atlantique, constituait au sud-est le rivage où s'alimentait la sédimentation du géosynclinal des Appalaches. L'océan ne peut donc être cherché au sud-est, sur l'emplacement de l'Atlantique actuel; aussi beaucoup d'auteurs ont-ils admis, à la suite de James Hall, que la haute mer se trouvait vers le nord-ouest, dans une région peu plissée, où des terrains synchroniques de ceux des Appalaches se rencontrent avec des faciès différents de ceux de la région montagneuse. Dans la pensée

de ces auteurs, ces sédiments se seraient déposés à une profondeur plus considérable que celle du géosynclinal des Appalaches. Je ne crois pas que cette manière de voir soit fondée.

En effet, en ce qui concerne les dépôts siluriens, on ne peut guère admettre que les calcaires coralliens de Cincinnati se soient formés dans des eaux moins profondes que les schistes à Graptolithes des Appalaches et, quant au Dévonien, il présente dans l'Est un assez grand développement de schistes à Céphalopodes (Marcellus, Naples beds), qui sont remplacés dans les États du Centre par des calcaires peu puissants avec restes de Cœlentérés, de Crinoïdes, de Brachiopodes (type néritique).

On sait d'ailleurs que le « continent algonkien », qui, au début du Cambrien, occupait le centre de l'Amérique du Nord, n'a été recouvert que d'une manière intermittente par les mers paléozoïques, fait difficilement conciliable avec l'existence temporaire d'un « océan » sur son emplacement.

On peut, d'après tous ces exemples, attribuer le caractère de loi générale aux deux constatations suivantes :

1° *Les géosynclinaux, régions essentiellement mobiles de l'écorce terrestre, sont toujours situés entre deux masses continentales, régions relativement stables ; 2° les géosynclinaux constituent, avant leur comblement, des dépressions marines d'une profondeur assez considérable.*

Les aires continentales sont, par contre, des parties surélevées, exondées ou envahies temporairement par des mers peu profondes.

II. — Situation géographique des géosynclinaux aux diverses époques géologiques

Partant des principes généraux que j'ai mis en évidence dans les paragraphes précédents, je vais chercher à fixer, sur la sphère terrestre, l'emplacement des géosynclinaux aux grandes époques de l'histoire géologique du Globe (fig. 1).

J'essayerai d'abord de déterminer la position des géosynclinaux qui existaient à l'époque secondaire, puisque les documents sur l'extension des mers à cette époque sont beaucoup plus complets que ceux que nous possédons pour les autres phases de l'histoire de la Terre et puisque de remarquables essais de synthèse ont été déjà tentés pour le Trias, le Jurassique et le Crétacé et qu'ils pourront me servir de point de départ. Je montrerai ensuite, en me basant surtout sur les beaux travaux de M. Frech (1), qu'aux temps paléo-

(1) *Lethæa Palæozoica*, t. II, 1897-99.

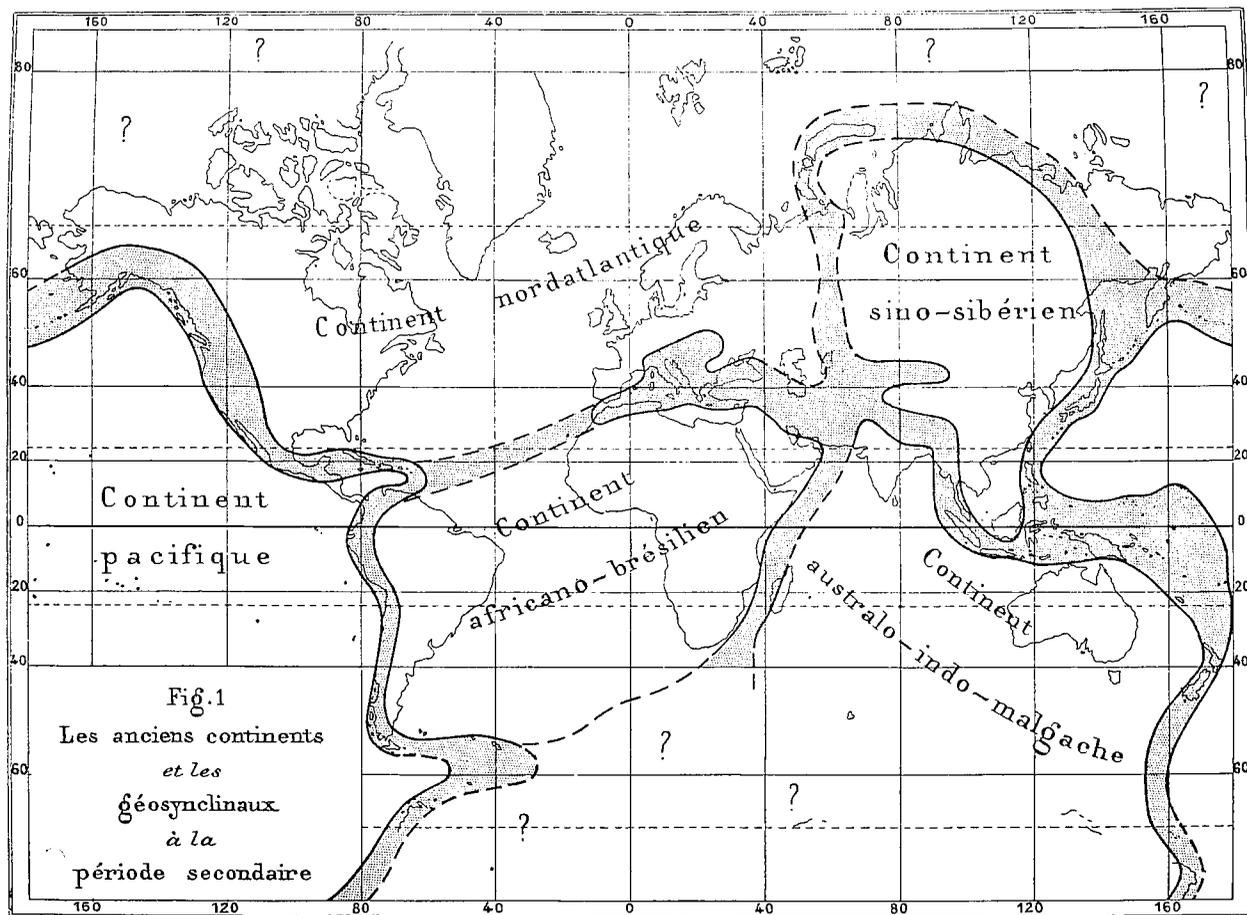


Fig.1
 Les anciens continents
 et les
 géosynclinaux
 à la
 période secondaire

zoïques l'emplacement des principaux géosynclinaux ne différerait pas beaucoup de leur emplacement aux périodes ultérieures. Je terminerai en recherchant si les grands plissements de l'époque tertiaire ont été précédés partout, au début de la période, par une phase de sédimentation détritique extrêmement intense, comparable à celle dont on a reconnu depuis longtemps l'existence dans la chaîne des Alpes. Mais, auparavant, je dois rappeler en peu de mots quel est l'état actuel de nos connaissances sur la répartition des plissements tertiaires à la surface du Globe.

EXTENSION DES PLISSEMENTS TERTIAIRES. — Neumayr est le premier géologue qui, en se basant surtout sur les travaux de M. Suess, ait tenté de représenter sur un planisphère (1) l'extension des régions plissées pendant le cours de l'ère tertiaire. La zone plissée comprend, comme l'on sait, la région alpine et méditerranéenne, sur laquelle je reviendrai plus loin, la Crimée, le Caucase, les montagnes de l'Asie Mineure, le plateau Iranien, l'Himalaya, l'arc Malais, jusqu'à la Nouvelle-Guinée. Ici la zone plissée se bifurque. L'une des branches se dirige vers le nord, comprend Célèbes, les Philippines, Formose, l'archipel du Japon, passe par les Kouriles et les Aléoutiennes en Amérique. Elle suit constamment la côte pacifique, depuis l'Alaska jusqu'au cap Horn, sauf dans l'Amérique centrale, où elle quitte le versant du grand océan pour former les arcs concentriques des Antilles. L'autre branche s'étend de la Nouvelle-Guinée à la Nouvelle-Zélande, en passant par la Nouvelle-Calédonie et en s'épanouissant vers le nord en plusieurs rameaux.

Si l'on tient compte de la disposition des isobathes et de la répartition des volcans sur le pourtour du Pacifique, on peut compléter le schéma de Neumayr et fermer, au moins hypothétiquement, le cercle de plissements qui entoure l'océan. Tout d'abord l'on constate, à l'extrémité méridionale de l'Amérique du Sud, une inflexion bien nette de la Cordillère des Andes, qui prend dans la Terre de Feu une direction O.-E. Cette direction se retrouve dans l'île des États. On peut se demander, comme l'a fait M. Arctowski (2), où doit être cherchée la continuation de la chaîne des Andes. Le distingué géologue de la *Belgica* relie, sur une figure schématique qui accompagne sa note, l'île des États aux Shetland du Sud et à la Terre de Graham par un coude assez brusque. L'examen des courbes

(1) *Erdgeschichte*, II, p. 635.

(2) K. ARCTOWSKI. Observations sur l'intérêt que présente l'exploration géologique des terres australes, *B. S. G. F.*, 3^e sér., t. XXIII, p. 589-591, 1896.

bathymétriques, telles qu'elles figurent par exemple sur les cartes du *Challenger*, m'a conduit cependant à réunir ces régions, comme l'a fait également M. Sacco (1), par une courbe moins ouverte, à branches parallèles et à courbure très accentuée, dessinée par la Géorgie du Sud et les Sandwich du Sud. Les Orcades du Sud possèdent une direction E.-O. ; les Shetland du Sud, alignées du N.-E. au S.O., se trouvent dans leur prolongement et appartiennent, comme l'ont montré les observations faites par les savants de la *Belgica* (2), à un système de plissements possédant cette même direction, système dont font également partie la terre de Graham et sans doute aussi la terre Alexandre I. A partir d'ici tous les documents précis font défaut, aussi est-ce d'une manière tout à fait hypothétique que je relie, avec M. Murray et avec M. Hans Reiter (3), la terre Alexandre I à la terre Victoria.

Dans la terre Victoria, les deux volcans, l'Erebus et la Terror, découverts par Ross, en 1840, viennent s'interpoler dans le « cercle de feu » qui entoure le Pacifique. La côte est orientée du sud au nord et une traînée d'îles la relie à l'extrémité méridionale de la Nouvelle-Zélande. Ce sont les îles Balleny, Macquarie, Émeraude, Campbell, Auckland. Nous avons ainsi rejoint la branche qui, des îles de la Sonde, se dirige vers le sud-est et vers le sud, en fermant le cercle des plissements.

C'est sur cet immense cercle circumpacifique que viennent s'embrancher, à l'ouest de la Nouvelle-Guinée, les chaînes de la Malaisie et de l'Asie méridionale, que l'on suit aisément vers l'ouest jusqu'à Gibraltar. Mais là ne s'arrête pas encore cette zone de plissements grossièrement parallèle à l'Équateur. On peut admettre — et cela surtout pour des raisons stratigraphiques qui seront exposées plus loin — qu'elle se continuait au travers de l'Atlantique, de manière à s'embrancher également sur le segment oriental du cercle circumpacifique, à la latitude des Antilles. M. Suess a insisté, en s'appuyant sur des arguments puissants, sur les analogies stratigraphiques que présentent les Antilles et les régions méditerranéennes. Il a montré aussi que l'arc convexe des Antilles et celui des plissements de la Méditerranée occidentale (Baléares-Andalousie-Gibraltar-Atlas) se font face des deux côtés de l'Atlantique. Je suis tout porté

(1) F. SACCO. Essai sur l'orogénie de la Terre, in-8°, Turin, 1895. Planche.

(2) E. RACOWITZA. Résultats généraux de l'expédition antarctique belge. *La Géographie*, 1900, p. 81-92, pl. IV.

(3) HANS REITER. Die Südpolarfrage und ihre Bedeutung für die genetische Gliederung der Erdoberfläche. *Kettlers Zeitschr.*, vol. VI, p. 1-30, pl. I, 1886.

à croire que ces deux arcs étaient reliés entre eux par une chaîne qui leur était tangente.

En effet, la plus méridionale des chaînes du Venezuela, au lieu de subir l'incurvation des chaînes plus septentrionales, qui forment les Petites Antilles, conserve sa direction ouest-est, jusque dans l'île de la Trinité et sa continuation orientale doit être cherchée sous l'Atlantique. De même, de l'autre côté de l'océan, le Grand Atlas ne suit pas l'incurvation des chaînes plus septentrionales, qui se raccordent à Gibraltar avec la Cordillère Bétique, et conserve sa direction E.N.E.-O.S.O. jusqu'au cap Ghir. Les Canaries sont situées dans son prolongement. Les deux tronçons se correspondent des deux côtés de l'Atlantique et je ne puis résister à la tentation de les raccorder, en supposant une chaîne cachée sous l'océan actuel, chaîne parallèle d'ailleurs aux plissements paléozoïques, qui, plus au nord, d'après M. Marcel Bertrand, franchissaient également l'Atlantique.

Ainsi une chaîne continue, presque entièrement située dans l'hémisphère nord, relie les deux branches, orientale et occidentale, de la grande chaîne circumpacifique. En dehors de ces grandes zones plissées, les terrains tertiaires, et l'on peut en dire autant des terrains secondaires, sont, en général, restés à peu près horizontaux ou n'ont subi que des ondulations peu accentuées, que M. Suess a appelées avec raison des plissements posthumes. Je dois cependant mettre à part une région qui fait exception à cette règle, c'est la zone plissée qui s'étend à travers toute la Russie méridionale, depuis la presqu'île de Manguichlak jusqu'en Pologne, puis de là à travers la plaine de l'Allemagne du Nord jusque dans le Yorkshire. Je reviendrai plus loin sur cette zone, qui, par certains caractères, se rapproche de l'Oural et qui a son analogue, en Amérique, dans les Montagnes Rocheuses.

LES GÉOSYNCLINAUX DE LA PÉRIODE SECONDAIRE. — M. Suess a établi depuis longtemps que toutes les zones plissées dont nous venons de rappeler à grands traits les allures ont été, pendant la période secondaire, occupées par des mers dont les dépôts rappellent, par bien des caractères, ceux de la région alpine. Ce sont, presque toujours, des dépôts du type bathyal, formés, dans un grand nombre de cas, dans des géosynclinaux. J'ai montré plus haut qu'on ne peut les attribuer à la zone abyssale.

Dans son ouvrage mémorable sur la répartition géographique des terrains jurassiques, Neumayr donna le nom de « Méditerranée centrale » à la profonde dépression qui s'étendait des Antilles aux

Indes orientales, sur l'emplacement futur des chaînes tertiaires. M. Suess proposa plus tard le nom de « Tethys » (1) pour désigner ce même « océan ».

C'est M. E. von Mojsisovics qui montra l'extension du Trias « pélagique » dans une grande partie de la Tethys et qui put en signaler l'existence sur tout le pourtour du Pacifique: La découverte du Trias à Sumatra et celle du Lias dans l'île de Rotti, près de Timor, sont venues confirmer d'une manière éclatante la règle de la coïncidence des plissements tertiaires avec les faciès alpins. Les études de M. Kossmat et de M. Steinmann ont montré en outre la constance des caractères paléontologiques du Sénonien sur le pourtour du Pacifique, toujours dans les mêmes régions (Japon, Colombie Britannique, Chili, Nouvelle-Zélande, etc.).

L'existence d'une communication directe à travers l'Atlantique entre la Tethys et le géosynclinal circumpacifique est évidente pendant les périodes jurassique et crétacée. Les analogies de l'Aalénien, du Bajocien, du Callovien, du Tithonique de la Cordillère des Andes avec les formations de même âge de l'Europe occidentale sont frappantes. On sait que le parallélisme de ces étages de part et d'autre de l'Atlantique a pu être établi zone par zone. Les ressemblances du Barrémien de la Colombie avec celui des Alpes occidentales sont non moins grandes et sont connues depuis longtemps (2). Plus récemment, M. Douvillé a fait ressortir les affinités qui existent entre l'Albien supérieur du Pérou et du Vénézuéla et celui du Portugal. Le peu que nous savons des terrains secondaires du Mexique indique également des affinités très grandes avec l'Europe et les analogies du Crétacé supérieur des Antilles avec celui de Gosau ont été mises en évidence par M. Suess.

La Tethys devait également communiquer avec les *mers du Sud*, au moins à partir du Jurassique. La « Méditerranée éthiopienne » de Neumayr semble avoir été, depuis cette époque, un détroit séparant, au moins temporairement, l'Afrique de Madagascar et il est fort probable qu'elle constituait un géosynclinal, dont l'axe devait coïncider avec celui du détroit de Mozambique actuel. Les dépôts tithoniques de Mombassa ont un caractère bathyal, mais l'absence des genres *Phylloceras* et *Lytoceras* dans l'Oxfordien de Mtaru et de

(1) E. SUESS. Are great ocean depths permanent? *Natural Science*, vol. II, n° 13, mars 1893. Tethys était la sœur d'Okeanos.

(2) V. surtout: UHLIG. Die Cephalopoden der Wernsdorfer Schichten, p. 35, Vienne, 1883.

Tanga et dans le Portlandien d'Apandramahala, à Madagascar (1), indique plutôt des eaux d'une profondeur relativement faible. Dans tous les cas, si le détroit de Mozambique était un géosynclinal, il n'a pas été le théâtre de mouvements orogéniques qui se soient traduits à la surface.

LES GÉOSYNCLINAUX PALÉOZOÏQUES. — Il ne paraît pas y avoir eu de très grandes différences dans la situation respective des géosynclinaux et des aires continentales entre la fin des temps paléozoïques et le début de l'ère mésozoïque. L'emplacement de la Tethys est déjà marqué par un grand développement de dépôts marins. Il suffit de rappeler les séries puissantes des Asturies, des Pyrénées, des Alpes orientales, de la Perse, de l'Asie centrale, de Sumatra, etc. Les principaux gisements de Permien à Céphalopodes se trouvent situés dans cette bande méridionale de l'Ancien Continent (Pyrénées, Sicile, Alpes Carniques, Djoulfa, Darwas, Salt-Range, Himalaya, Timor). Les calcaires à Fusulines y jouent un rôle considérable à l'époque ouralienne et sont connus jusque dans le Thibet. Mais c'est au Carbonifère inférieur que la Tethys semble avoir possédé son maximum d'extension, ainsi qu'il résulte de l'aperçu publié par M. Frech. La mer pénètre jusque dans la Chine centrale et méridionale.

Depuis Sumatra jusque dans les Asturies, la Tethys possède donc, pendant les période carbonifère et permienne, une unité aussi remarquable que pendant l'ère secondaire.

Malgré l'état peu avancé de nos connaissances, on peut en dire autant du géosynclinal circumpacifique. Des couches à Fusulines du Carbonifère supérieur sont connues au Japon, en Californie, au Guatemala, en Bolivie et des couches de même âge ont été signalées dans l'Alaska et à Vancouver. Le Carbonifère inférieur existe en outre dans la Nouvelle-Zélande et jusque dans les régions orientales de l'Australie.

La principale différence dans la répartition des terres et des mers entre le début de l'ère secondaire et la période anthracolithique réside dans l'existence, pendant celle-ci, d'un important géosynclinal sur l'emplacement de l'Oural, dans lequel les sédiments se présentent en continuité et avec de grandes épaisseurs depuis le Dévonien jusqu'au Permien. Je reviendrai plus loin sur ce géosynclinal et sur celui des Montagnes Rocheuses, où l'on a observé une série tout à fait analogue.

(1) MUNIER-CHEALMAS. Observations à la suite d'une communication de M. Boule. *B. S. G. F.*, 3^e sér., t. XXVII, p. 125, 1899.

A l'époque dévonienne, le contraste le plus frappant existe, comme on le sait, entre les régions septentrionales de l'Europe, où les dépôts de cet âge sont restés horizontaux, et les régions centrales et méridionales, où ces dépôts ont été plissés et forment un vaste géosynclinal. Dans la partie axiale de la dépression, le Silurien, le Dévonien et le Carbonifère inférieur sont concordants et le Dévonien est souvent représenté par son type bathyal. La bande où existe cette continuité passe par les Pyrénées, la Montagne Noire, les Alpes orientales; elle correspond à une région où les plissements tertiaires ont atteint une grande intensité. Il ne semble donc pas que l'axe de la Tethys ait occupé une position sensiblement différente au Dévonien et au Secondaire, contrairement à ce que l'on pourrait penser d'après les essais paléogéographiques récents. Ces cartes sont construites sur les données que nous possédons actuellement sur le Dévonien *fossilière*; or, dans la plupart des régions qui ont été affectées par les plissements tertiaires et qui ont vraisemblablement été le théâtre de mouvements orogéniques à la fin des temps paléozoïques, il est très probable que les dépôts dévoniens ont été en grande partie fortement métamorphisés, comme ils l'ont été dans de nombreuses régions alpines. Les argiles déposées dans l'axe du géosynclinal ont dû être transformées en profondeur en schistes cristallins, que l'on confond vraisemblablement à tort avec les gneiss et les micaschistes archéens, comme on l'a fait pendant longtemps dans les Alpes. Les péninsules de l'Apennin et des Balkans, l'Asie Mineure, les plateaux iraniens, l'Himalaya, l'Indo-Chine et les îles de la Sonde devront donc, si cette hypothèse est conforme à la réalité, être restituées aux surfaces occupées par la mer.

Les mêmes conclusions s'appliquent au Silurien, car le géosynclinal correspondant au futur emplacement de la Tethys secondaire coïncidait probablement avec celui du Dévonien, sauf, en Europe, une plus grande extension vers le nord. On sait que dans une bande comprenant l'Irlande, la plus grande partie de l'Écosse et la chaîne centrale de la Scandinavie, bande connue sous le nom de zone des Grampians, l'Archéen, l'Algonkien, le Cambrien et le Silurien sont en parfaite concordance, atteignent des épaisseurs très considérables, et ont été plissés au début du Dévonien (chaîne armoricaine); mais tout porte à croire que cette série concordante se retrouvait également dans certaines régions alpines et méditerranéennes, englobant en outre le Dévonien, voire même, dans quelques cas, le Carbonifère.

Nous avons aussi de nombreux indices de l'existence, au Cambrien, au Silurien et au Dévonien, d'un géosynclinal circumpacifique, qui alors s'étendait encore sur toute la partie orientale de l'Australie. Le Silurien et le Dévonien ont été signalés dans la Nouvelle-Zélande, au Japon, dans la Californie et le Nevada, dans la Bolivie et dans les Andes de la République Argentine. Au Cambrien, ces mêmes régions constituent, comme M. Frech l'a établi, une province zoologique distincte, caractérisée par l'absence du genre *Paradoxides*, par l'apparition précoce de *Dicelloccephalus* et par plusieurs autres particularités paléontologiques.

Les preuves de communications directes entre l'Europe et l'Est de l'Amérique du Nord ont été mises en évidence depuis longtemps. De même qu'au Sénonien la craie à Bélemnites de New-Jersey est identique à la craie à Bélemnites de l'Europe occidentale, au Cambrien, les zones paléontologiques que l'on avait établies en Scandinavie se retrouvent presque toutes dans le Nouveau-Brunswick et dans l'île de Terre-Neuve.

Des communications transatlantiques ont certainement existé aussi entre l'Amérique du Sud et l'Afrique australe, car de nombreuses espèces très caractéristiques sont communes au Dévonien inférieur de la Bolivie, du Brésil méridional, des îles Falkland et de la colonie du Cap.

Des faits que je viens de rappeler je tirerai un peu plus loin des conclusions sur l'extension des masses continentales pendant l'ère paléozoïque, pour le moment, il me suffira de constater que les axes des géosynclinaux du Paléozoïque coïncidaient grossièrement avec ceux des géosynclinaux mésozoïques. Aux temps primaires les zones en voie de dépression constante s'étendaient sur une largeur plus grande qu'à l'époque secondaire et la bande qui est le siège de mouvements orogéniques devient de plus en plus étroite depuis l'époque algonkienne jusqu'au Carbonifère.

LES GÉOSYNCLINAUX TERTIAIRES. — Il est facile de démontrer qu'au début de la période tertiaire, et peut-être jusqu'au Miocène, la répartition des dépressions marines à la surface du Globe était encore sensiblement la même que pendant le cours de la période secondaire.

Les couches à Nummulites de l'Eocène — si l'on fait abstraction du bassin anglo-parisien, de l'Afrique septentrionale et de l'Inde péninsulaire — sont strictement localisées dans les bandes qui constituaient des géosynclinaux à l'époque secondaire, savoir : région alpine et méditerranéenne, Asie Mineure, Perse, Himalaya, Sumatra, Java, c'est-à-dire dans la Tethys ; Nouvelle-Zélande, Nou-

velle-Guinée, Philippines, Mexique, Equateur, Pérou, c'est-à-dire dans le géosynclinal circumpacifique ; côte occidentale de Madagascar et Gazaland, c'est-à-dire sur les bords de l'ancien détroit de Mozambique. Certainement, dans une partie de ces gisements, l'Oligocène est également représenté et l'on peut affirmer, avec M. Suess, qu'à cette même époque la région des Antilles communiquait avec la région méditerranéenne sans en être séparée par un océan. Il résulte même d'une étude de M. Mörcke sur les couches de Navidad, au Chili, que la faune de ces dépôts a des affinités plus grandes avec la faune méditerranéenne actuelle qu'avec celle du Pacifique.

Mais il y a plus. Il existe également des analogies lithologiques entre les dépôts tertiaires de toutes ces régions qui vont être le théâtre des derniers grands efforts de plissement. Comme pour les périodes antérieures, les mouvements orogéniques ont été précédés par la formation de géosynclinaux, dans lesquels s'accumulaient de grandes épaisseurs de sédiments. Au début de la période, la sédimentation est surtout vaseuse, puis les géosynclinaux se comblent et les dépôts deviennent grossièrement détritiques ; enfin, dans une dernière phase, la mer est rejetée sur le bord de la chaîne et les nouvelles dépressions, lacustres ou marines, sont comblées à leur tour. Dans les Alpes occidentales, la première phase correspond à la formation du Flysch calcaire, d'âge priabonien (1) (Ubaye et Embrunais, canton de Glaris, Grisons) ; la seconde, à celle du Flysch gréseux (grès d'Annot, grès de l'Embrunais, grès d'Elm), d'âge stampien (rupélien) ; la troisième, d'âge d'aquitaniens et miocène, à celle des mollasses et de la Nagelfluh (2).

Dans d'autres chaînes de même âge que les Alpes on retrouve aisément ces mêmes trois phases dans le dernier cycle de sédimentation. Ainsi, le flysch calcaire ou vaseux, qui est tout à fait comparable au faciès vaseux des terrains secondaires et qui ne s'en distingue guère que par l'absence des Céphalopodes, existe aussi dans l'Apennin central, où il est connu sous le nom d'« argille scagliose », dans les Alpes Dinariques, dans beaucoup d'îles de la mer Egée, dans l'Asie Mineure. Comme dans les Grisons, ce Flysch est traversé par des roches vertes intrusives, généralement transformées en

(1) Éocène supérieur dans la classification de MM. Munier-Chalmas et de Lapparent. Oligocène inférieur dans la classification allemande.

(2) M. Marcel BERTRAND (Structure des Alpes françaises et récurrence de certains faciès sédimentaires, *Congrès géol. intern. Zurich*, p. 170) a admis une chronologie un peu différente, puisqu'il considère la succession des phénomènes sédimentaires précédant la formation d'une chaîne de montagnes comme un cycle unique.

serpentine. M. Suess (1) a insisté sur la présence des mêmes formations dans l'Afghanistan, aux îles Andaman et Nicobares, en Birmanie, dans la Nouvelle-Calédonie, dans les Antilles et dans la Cordillère des Andes.

Des grès grossiers, en tous points analogues aux grès oligocènes des Alpes occidentales, se rencontrent en Algérie (grès de Kabylie), dans l'Himalaya, dans les îles de la Soude. Des mollasses et des nagelfluhs miocènes existent dans l'Atlas, dans la péninsule des Balkans, en Asie Mineure, en Perse, en Californie, dans les Andes. Les couches des Siwaliks, sur la bordure méridionale de l'Himalaya, correspondent exactement aux mollasses d'eau douce du bord subalpin.

Ainsi se poursuit jusque dans les détails la conformité de l'histoire géologique des régions qui ont été affectées par les grands plissements de l'époque tertiaire, et qui ont été occupées par des géosynclinaux pendant toute l'époque secondaire. Si, dans certains cas, on constate que les sinuosités décrites par les géosynclinaux n'ont pas toujours été les mêmes à deux époques consécutives, il n'en est pas moins vrai que ce sont toujours les mêmes grandes régions qui, depuis le début des temps primaires, ont été les parties mobiles de l'écorce terrestre.

C'est maintenant des régions stables ou relativement stables, c'est-à-dire des masses continentales, que nous allons avoir à nous occuper.

DEUXIÈME PARTIE. — Les masses continentales

I. — Détermination géographique déduite de l'emplacement des géosynclinaux

J'ai établi plus haut que les géosynclinaux, régions essentiellement mobiles de l'écorce terrestre, sont toujours situés entre deux masses continentales, régions relativement stables. De la situation géographique des géosynclinaux, il est donc facile de déduire l'emplacement des masses continentales pendant les périodes géologiques. On peut ainsi établir l'existence d'un certain nombre d'anciens continents, qui, par leurs limites, voire même par leur situation, diffèrent considérablement des continents actuels. Ces continents sont les suivants :

(1) La face de la Terre, t. I. p. 734.

- 1° Continent nordatlantique ;
- 2° Continent sino-sibérien ;
- 3° Continent africano-brésilien ;
- 4° Continent australo-indo-malgache ;
- 5° Continent pacifique.

Je vais, pour chacun d'eux, mettre en évidence les arguments *géologiques* qui militent en faveur de son existence, réservant toutefois, pour la dernière partie de ce mémoire, les arguments tirés des grandes transgressions.

Dans le chapitre suivant, je compléterai ces données par des considérations d'ordre *zoogéographique* et *phytogéographique*.

CONTINENT NORDATLANTIQUE. — Beaucoup d'auteurs admettent actuellement que la partie septentrionale de l'océan Atlantique est de formation relativement récente. M. Suess et M. Marcel Bertrand ont montré comment quelques-unes des chaînes de l'Europe se retrouvent au-delà de l'océan, dans le continent nordaméricain, de telle sorte que la continuité des plissements d'un continent à l'autre ne peut guère faire de doute. M. Suess a désigné sous le nom « d'Atlantide » (1), la masse continentale qui, au Paléozoïque, comprenait le noyau archéen de l'Amérique du Nord, l'Amérique boréale, l'emplacement de l'Atlantique Nord et le Nord de l'Europe. Le Groenland, dit M. Suess, est un reste de ce continent, aujourd'hui en partie effondré.

Partant de considérations toutes différentes, Neumayr a admis, dans sa reconstitution des terres et des mers à l'époque jurassique (2), un « continent néarctique », comprenant l'Ouest de l'Amérique du Nord, le Groenland et l'Islande, et séparé de « l'île scandinave » par le « détroit des Shetlands ». Si ce détroit a réellement existé, il ne doit certainement pas nous empêcher d'envisager le « continent néarctique » et « l'île scandinave » réunis comme une seule unité continentale. D'autre part, comme nous le verrons plus tard, le Spitzberg et la Terre François Joseph, que Neumayr place dans son « océan arctique », n'ont été envahis que temporairement par les eaux, à certaines époques de grande transgression. Ces archipels doivent donc être rattachés eux aussi au continent.

Les limites du continent nordatlantique peuvent être en grande partie fixées d'après les géosynclinaux qui l'entourent.

En Amérique, le géosynclinal de la Cordillère et celui des Antilles

(1) *Antlitz der Erde*, II, p. 318.

(2) M. NEUMAYR. Die geographische Verbreitung der Juraformation. *Denkschr. Math.-Naturw. Cl. K. Akad. Wiss*, t. L, carte I, 1885.

constituent à l'ouest et au sud une limite naturelle. Les grandes plaines crétacées qui s'étendent depuis l'embouchure du Mackenzie jusqu'aux monts Ouachita, dans le Texas, et les plaines paléozoïques du centre des États-Unis peuvent être envisagées comme le bord extérieur d'une masse restée relativement stable, où les dépôts postalgonkiens sont demeurés presque toujours horizontaux et présentent un caractère néritique. Le bras hypothétique de la Tethys, qui traverse l'Atlantique, des Antilles au Maroc, sépare le continent nordatlantique du continent africano-brésilien. En Europe, le géosynclinal complexe de la région alpine se comporte de même et la région ouralienne sépare à l'est la Plateforme Russe du continent sino-sibérien, jouant le rôle de géosynclinal pendant toute la période paléozoïque et formant un bras de mer pendant tout au moins une partie des temps secondaires et tertiaires. La limite septentrionale du continent nordatlantique demeure seule indéfinie. Entre les terres polaires d'Amérique et d'Europe et celles d'Asie s'étend aujourd'hui une profonde dépression océanique, qui a peut-être toujours existé. Dans tous les cas, le continent nordatlantique et le continent sino-sibérien ne se rejoignaient pas sur l'emplacement de cet océan, car la côte septentrionale de la Sibérie a été, pendant une grande partie de l'époque mésozoïque, une région littorale.

CONTINENT SINO-SIBÉRIEN. — Le nom d'« Eurasie », qui est souvent employé pour désigner l'ensemble de l'Europe (plus les pays de l'Atlas) et de l'Asie (moins l'Arabie), n'a sa raison d'être que lorsqu'il s'agit du continent actuel, car, au moins jusqu'à l'Oligocène, nous avons des preuves d'une séparation marine de l'Europe et de l'Asie, sur l'emplacement ou sur l'un des versants de l'Oural. Le noyau central de la Sibérie et la Chine constituaient peut-être deux continents distincts au Paléozoïque, mais, dès le Jurassique, les deux masses étaient certainement soudées, la mer formant tout au plus un golfe, s'étendant sur l'emplacement du Thian-Chan (1). Le nom de continent sino-sibérien convient donc mieux que tout autre à la masse centrale de l'Asie et en tout cas celui de « continent sino-australien », proposé par Neumayr, doit être rejeté, car, contrairement aux conclusions de cet illustre et regretté savant, la Sibérie n'était pas sous les eaux de la mer jurassique et la Chine se trouvait séparée de l'Australie par un bras de mer correspondant à l'emplacement des îles de la Sonde.

(1) Bélemnites et Bivalves recueillis par A. Regel, dans l'Eiren Kabirghan, dans des schistes noirs superposés au gneiss.

C'est la Tethys qui délimitait au sud le continent sino-sibérien, tandis que la limite orientale était formée par la portion du géosynclinal circumpacifique comprise entre les Philippines et le Kamtchatka. Bornéo faisait probablement partie du continent dès le début des temps paléozoïques.

Je ne voudrais pas affirmer qu'un géosynclinal ait également limité au nord le continent sino-sibérien, quoique une chaîne de plissements relie peut-être l'extrémité nord-est de la Nouvelle-Zemble avec la chaîne de Werchojansk (1), en passant par le cap Tcheljouskine et par les embouchures de l'Olenek et de la Lena. Toutefois, la nature plutôt littorale des dépôts secondaires de ces régions (Trias inférieur et Néocomien) n'est pas précisément favorable à cette interprétation.

L'avenir nous apprendra si la disposition des chaînes en courbes concentriques fermées, qui paraît ressortir des cartes actuellement publiées, correspond à la réalité où si elle n'est qu'une apparence due à l'insuffisance des documents.

CONTINENT AFRICANO-BRÉSILIEN. — Neumayr désigne sous le nom de « continent brasiliario-éthiopien » une masse continentale comprenant l'Amérique du Sud, à l'exception de la région andine, l'Afrique, à l'exception de l'Atlas, et l'Arabie. Pour des raisons d'euphonie, je préfère employer le nom de « continent africano-brésilien ». L'existence d'une terre ferme réunissant l'Amérique du Sud à l'Afrique au travers de l'Atlantique est déduite par Neumayr de l'absence totale des dépôts jurassiques sur les côtes de l'Atlantique au sud du Maroc et de la présence de roches anciennes dans les projections volcaniques des îles du Cap Vert. Des arguments zoogéographiques puissants militent également, ainsi que nous le verrons plus loin, en faveur de cette jonction.

Le continent est délimité au nord par la Tethys, à l'ouest par le géosynclinal des Andes, à l'est par le détroit de Mozambique. Les limites méridionales sont moins certaines, mais il est manifeste qu'au Dévonien une communication directe existait entre les mers qui baignaient les extrémités méridionales de l'Amérique et de l'Afrique et il est probable qu'au Crétacé cette communication subsistait encore (2). D'ailleurs, si au Paléozoïque, l'étendue du continent africano-brésilien était bien moindre qu'à l'époque secondaire, l'emplacement de la masse centrale semble avoir été le même.

(1) F. SACCO. Essai sur l'orogénie de la Terre, p. 13 et carte.

(2) NEUMAYR. Geogr. Verbr. d. Juraform., p. 55.

L'existence du détroit de Mozambique ne paraît pas être plus ancienne que le Jurassique et, à partir de cette époque, Madagascar a dû se trouver à maintes reprises reliée à l'Afrique.

CONTINENT AUSTRALO-INDO-MALGACHE. — M. Suess, en se basant sur l'extension de la flore à *Glossopteris*, s'est trouvé conduit à admettre l'existence d'un vaste « continent de Gondwana », dont l'Afrique, l'Inde péninsulaire et l'Australie doivent être considérés comme des débris. On peut y ajouter l'Amérique du Sud, mais c'est pendant les temps antéjurassiques seulement que cet ensemble a constitué une masse continentale unique. Plus tard, Madagascar — avec les Seychelles et les Mascareignes (1) —, l'Inde et l'Australie formèrent une masse indépendante, séparée du continent africano-brésilien par le détroit de Mozambique. Ce continent australo-indo-malgache, qui commença peut-être à se morceler à l'époque crétacée, constituait le « Vorland » des plissements alpins, depuis l'Indus jusqu'à la Tasmanie, et c'est le géosynclinal sur l'emplacement duquel se formèrent ces plissements qui doit être envisagé comme sa limite septentrionale et orientale. Il est tout-à-fait impossible de dire jusqu'où il s'étendait vers le sud et si, à un moment donné, il s'est trouvé en continuité avec les terres antarctiques de Wilkes et d'Enderby.

CONTINENT PACIFIQUE. — Le continent pacifique est purement hypothétique, mais l'existence d'un géosynclinal circumpacifique, dans lequel les conditions de sédimentation étaient les mêmes que dans la Tethys, nous impose d'une manière absolue l'hypothèse d'une masse continentale sur l'emplacement des fonds abyssaux du Pacifique actuel. Huxley et G. Baur ont admis l'existence de ce continent en se basant sur des considérations zoogéographiques. Neumayr (2) a envisagé les îles de la Polynésie comme des restes d'un continent très ancien, qui s'était déjà affaissé sous les eaux avant l'époque jurassique. D'autres auteurs ont, par contre, énergiquement nié son existence. M. Koken (3) admet que « la permanence de l'océan Pacifique depuis les temps les plus reculés est un fait avec lequel la géologie est obligée de compter ». M. Frech (4)

(1) Ces deux archipels sont encore réunis par un seuil sous-marin, le « seuil des Mascareignes » de M. Supan.

(2) Geogr. Verbr. d. Juraform., p. 65.

(3) E. KOKEN. Die Vorwelt und ihre Entwicklungsgeschichte. In-8°, Leipzig, 1893, p. 404.

(4) « L'océan Pacifique est la seule mer du Globe qui, malgré de grands changements sur ses limites, n'a jamais, dans son ensemble, perdu son caractère de plus grand et plus profond bassin maritime. » *Lethæa Palæozoica*, t. II, p. 396. Stuttgart, 1899.

professe la même opinion. M. Suess lui-même a tout d'abord assigné à l'océan Pacifique un âge beaucoup plus ancien qu'à l'océan Indien et à l'océan Atlantique. Cependant il insistait sur le rôle de « Vorland » que joue le Pacifique par rapport aux plissements de son pourtour, rôle tout à fait comparable à celui des débris du « continent de Gondwana » par rapport aux plissements de l'Asie méridionale.

En effet, si l'arc iranien a pour « Vorland » l'Arabie; l'arc himalayen, l'Inde péninsulaire; la Nouvelle-Guinée, l'Australie, on ne voit pas pourquoi les arcs montagneux du Pacifique nord n'auraient pas eu un « Vorland » continental situé sur l'emplacement de l'océan actuel. Si l'on admet que la grande fosse (6.205^m) située au sud des îles de la Sonde était autrefois occupée par une terre ferme réunissant l'Inde péninsulaire à l'Australie, il n'y a pas de raison de ne pas adopter l'hypothèse d'un continent situé au large du Japon et des Kouriles, sur l'emplacement de la fosse du Japon (8514 m.). Et l'on peut étendre la même conclusion à la partie du Pacifique située au large de la chaîne de montagnes (1) en partie submergée qui va de l'extrémité nord-est de la Nouvelle-Zélande aux îles Marshall, en passant par les îles Kermadec, l'archipel des Tonga, les îles Lagunes et les îles Gilbert.

D'autre part, si l'on se souvient que, d'une manière générale, tous les géosynclinaux sont limités, sur leurs deux bords, par des masses continentales, on ne voit pas pourquoi le géosynclinal circumpacifique ferait exception. Aussi ai-je formulé, dès 1897, l'hypothèse que ce géosynclinal entourait entièrement, au moins pendant l'époque secondaire, un continent, effondré depuis, situé sur l'emplacement des abysses du Pacifique actuel (2). Dans un travail récent, M. Suess (3) a exprimé l'opinion que tout au moins l'ébauche première de la Cordillère américaine serait plus ancienne que l'océan Pacifique. Pour ma part, je suis tenté d'admettre que les effondrements sont, au moins en partie, postérieurs à la formation des plissements tertiaires. C'est ce qui a lieu dans la Méditer-

(1) Cette chaîne, qui est sans doute — de même que celle des Nouvelles-Hébrides, des îles Salomon et de l'archipel Bismarck — un rameau dévié de la grande chaîne tertiaire circumpacifique, constitue la véritable limite occidentale du Pacifique. Comme les îles de la Sonde, elle est bordée par une fosse profonde, la plus profonde des fosses connues, puisque au sud-est des îles Tonga le fond n'a pas été touché à 8960 m., lors des sondages du *Penguin*, en 1895. (V. SUPAN, Grundzüge der physischen Erdkunde, 2^e édit., carte, pl. I).

(2) Revue annuelle de Géologie. *Revue générale des Sciences*, 1897, p. 162.

(3) Ueber die Asymmetrie der nördl. Halbkugel, p. 12.

ranée, qui, malgré l'échelle réduite, n'est pas sans présenter des analogies considérables avec le grand océan.

L'effondrement du continent australo-indo-malgache sur l'emplacement de l'océan Indien a laissé en saillie des massifs très étendus, qui ont échappé au mouvement de descente. Il n'en est pas de même du continent Pacifique, qui s'est abîmé sous les flots sans qu'aucune de ses parties soit restée émergée. Cependant, une portion de l'Amérique centrale fait peut-être exception.

En effet, la grande sinuosité que décrivent les plissements tertiaires de la Cordillère des Andes autour de la mer des Caraïbes, en passant par les Antilles, a évoqué, chez un certain nombre d'auteurs, l'idée que toute la région située dans la concavité de la courbe, sur le bord interne de la bande plissée, constituait autrefois une masse continentale, effondrée à une époque ultérieure à la formation des plissements. La partie effondrée constituerait aujourd'hui la mer des Caraïbes, tandis que le détroit de Panama, ainsi que Costa-Rica et le Nicaragua, devraient être envisagés comme des parties de la masse continentale restées en place, voire même surélevées. Cette « Antillide » (1) serait comparable, sous bien des rapports, à la masse continentale qui réunissait le littoral algérien et marocain à la chaîne Bétique, sur l'emplacement de la Méditerranée occidentale. Elle est entourée par la Cordillère des Antilles exactement de la même manière que cette masse continentale est entourée par l'Atlas et par la chaîne subbétique, comme l'a établi M. Suess.

Par analogie, la chaîne d'îles, qui continue, au-delà de la Terre de Feu, la Cordillère des Andes et qui décrit une courbe tout à fait analogue à celle des Antilles, peut être envisagée comme contournant également une masse continentale aujourd'hui entièrement affaissée sous les eaux.

Les deux masses continentales ainsi contournées par des plissements étaient probablement des presqu'îles du continent Pacifique s'avancant vers l'est. Elles ont peut-être résisté plus longtemps que le reste du continent à l'effondrement général.

Un autre point, qui a fourni à M. Wichmann (2) un argument en faveur de l'âge récent du Pacifique, mérite encore d'être signalé.

(1) Dans une note d'un intérêt capital, intitulée : « Reconstruction of the Antillean Continent » (*Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. VI, 1896, p. 103-140, pl. I), M. J. W. Spencer a montré avec évidence, en se basant sur l'existence de vallées submergées, que ce continent existait encore en partie au début de l'époque pléistocène.

(2) Arthur WICHMANN. Ein Beitrag zur Petrographie des Viti-Archipels. *Miner. u. petrogr. Mitth. v. Tschermak*, N. F., vol. V, p. 1-60, 1883.

Tandis que toutes les îles du Pacifique, à l'est de la zone qui s'étend des îles Marshall à la Nouvelle-Zélande, sont ou volcaniques ou coralliennes, les Marquises feraient exception et seraient constituées, d'après Marcou, par du granite et du gneiss. Ce seraient donc de véritables « îles continentales », c'est-à-dire des restes d'un ancien continent. M. Wichmann pense que beaucoup d'autres îles du Pacifique sont dans le même cas, mais que leur soubassement ancien est aujourd'hui recouvert par des roches volcaniques ou par des récifs coralliens.

Aux arguments géologiques en faveur de l'existence d'un ancien continent Pacifique, que je viens d'exposer, j'ajouterai, dans le chapitre suivant, quelques autres arguments tirés du domaine de la zoogéographie.

II. — Caractères zoogéographiques (et phytogéographiques) des anciens continents.

PRINCIPES GÉNÉRAUX. — Tandis que la distribution des êtres marins est principalement régie par la température, par conséquent par un facteur climatérique, il n'en est pas tout à fait de même pour celle des animaux terrestres. Les études zoogéographiques récentes ont montré, en effet, que l'histoire géologique d'une région continentale peut seule expliquer la répartition des animaux (1). Si l'on ne faisait pas intervenir l'histoire paléontologique et la paléogéographie, on ne comprendrait pas pourquoi des pays placés dans des conditions climatériques identiques possèdent des faunes totalement distinctes, tandis que d'autres, placés dans des conditions climatériques très différentes (ex. : Tasmanie, Nouvelle-Guinée) sont caractérisés par des types très semblables.

On sait maintenant que les différentes faunes terrestres qui coexistent actuellement à la surface du Globe sont des restes relativement peu modifiés de faunes qui se sont succédé dans le cours des périodes géologiques. Quelques auteurs ont formulé la règle que les faunes terrestres les plus anciennes sont conservées dans l'hémisphère sud et que, en se dirigeant vers le nord, on rencontre des faunes de plus en plus récentes. M. Suess (2) a exposé brièvement

(1) Dans toutes ces études zoogéographiques il est nécessaire, bien entendu, de n'attacher qu'une importance secondaire aux animaux qui peuvent franchir les barrières marines à la nage ou au vol.

(2) Ed. SUSS. Ueber die vermeintlichen säcularen Schwankungen einzelner Theile der Erdoberfläche., *Verh. k. k. geol. Reichsanst.* 1880, p. 178.

ces faits, mais n'a jamais eu l'occasion de développer les conclusions qu'ils comportent. Je vais essayer, en me basant sur les travaux les plus récents, de résumer les résultats acquis aujourd'hui dans cet ordre de recherches. En ce qui concerne la nomenclature, je suivrai surtout le beau livre de M. Lydekker (1) sur la distribution géologique des Mammifères, auquel j'emprunterai d'ailleurs un grand nombre de données (fig. 2).

Dans l'hémisphère nord il existe une zone circumpolaire ou « région arctique » (Allen) (2), caractérisée par une faune assez uniforme, comprenant non seulement des genres mais encore des espèces communes à toute la région (*Canis lupus*, *Canis vulpes*, *Ursus arctos*, *Gulo luscus*, *Castor fiber*, *Alces machlis*, *Rangifer tarandus*, etc.). Cette zone s'étend sur toute l'Europe, sur les régions méditerranéennes de l'Afrique, sur toute la partie de l'Asie située au nord de l'Himalaya, sur le Canada et sur toute l'Amérique arctique. M. A. Heilprin lui a donné le nom de « région holarctique », destiné à englober la « région paléarctique » et une partie de la « région néarctique » de M. Sclater. C'est au début du Pléistocène ou du Pliocène supérieur que la faune holarctique s'est substituée, au moins en Europe et en Amérique, à la faune dite « mio-pliocène ».

Au sud de la région holarctique s'étendent, dans l'Ancien Continent, la « région éthiopienne » de M. Sclater et la « région orientale » du même auteur. La région éthiopienne comprend l'Afrique au sud du Sahara ; la région orientale comprend l'Inde et l'Indo-Chine, ainsi que l'Archipel Malais. à l'ouest de la « ligne de Wallace ». Les faunes de ces deux régions présentent les plus grandes affinités à la fois entre elles et avec la faune mio-pliocène et ces affinités portent surtout sur les grands Singes, les Cercopithèques, les *Effodentia* (Pangolins et Oryctéropes), les *Rhinocéros*, les Éléphants, auxquels viennent se joindre, si l'on envisage également la faune fossile des Monts Siwaliks, l'Hippopotame, la Girafe, les Gazelles, les Bubales, les Chevrotains, etc. Les formes possédant des affinités plutôt miocènes que pliocènes (Singes anthropoïdes) sont refoulées actuellement dans l'Archipel Malais et dans les régions centrales et occidentales de l'Afrique.

Dans le Nouveau Continent la « région sonoriennne » de M. Hel-

(1) R. LYDEKKER. A geographical history of Mammals. Cambridge, 1896.

(2) J. A. ALLEN. The geographical distribution of the Mammalia, considered in relation to the principal ontological regions of the Earth, and the laws that govern the distribution of animal life. *Bull. of the U. S. Geol. a. Geogr. Survey of the Territories*, t. IV, p. 331, 1878.

prin, qui comprend les États-Unis et les hauts plateaux du Mexique, joue par rapport à la région holarctique un rôle tout à fait semblable. Sa faune est constituée par un certain nombre de descendants directs des faunes mio-pliocènes de l'Amérique du Nord, associés à des types sudaméricains. Plusieurs descendants de la faune miopliocène, tels que le Tapir américain (1), le Pécarri, le Lama, se trouvent actuellement refoulés jusque dans l'Amérique du Sud.

En Europe, la faune miocène a succédé assez brusquement à une faune oligocène, dont les restes se trouvent principalement dans les phosphorites du Quercy et dans le Sidérolithique suisse et dont l'analogue actuel ne peut être cherché qu'à Madagascar. Dans cette île, qui, avec les Comores, les Mascareignes, les Amirantes et les Seychelles, constitue une province zoologique indépendante, la « région malgache » ou « lémurienne » (Allen), on ne trouve, il est vrai, pas d'Ongulés, à l'exception d'un *Potamochoærus* et d'un Hippopotame, dans les dépôts pléistocènes d'Antsirabé, mais les Lémuriens rappellent ceux des phosphorites, comme l'a fait remarquer M. Suess, et l'on peut en dire autant des Viverridés et des Insectivores. Madagascar renfermerait donc un reste de la faune oligocène et cette faune refoulée d'abord en Afrique par cette même faune miocène, lorsque celle-ci envahit à son tour le continent éthiopien.

Nous ne connaissons actuellement aucune faune qui puisse être comparée à la faune éocène d'Europe et d'Amérique, mais on sait que la faune éocène fut précédée chez nous par une faune secondaire, constituée exclusivement par des Mammifères aplacentaires, faune dont l'analogue existe actuellement en Australie et dans les îles voisines, qui constituent la « Notogée » de Huxley. C'est là que vivent les Monotrèmes et les Marsupiaux, c'est là aussi que vit *Ceratodus*, type essentiellement triasique, et c'est dans la Nouvelle-Zélande que l'on a rencontré *Hatteria*, seul représentant actuel des Rhynchocéphales, c'est-à-dire de l'ordre le plus primitif des Reptiles, qui atteint son maximum dès le Permien. Ces données bien connues démontrent clairement que la Notogée s'est trouvée séparée des autres régions du Globe avant que les Aplacentaires y eussent fait leur apparition.

Les faits que je viens d'exposer sommairement ont été souvent mis en avant en faveur d'une hypothèse de l'origine polaire de la

(1) Le genre *Tapirus*, comme l'on sait, ne vit plus actuellement, dans l'Ancien Monde, que dans la presqu'île de Malacca et dans les îles de Sumatra et de Bornéo.

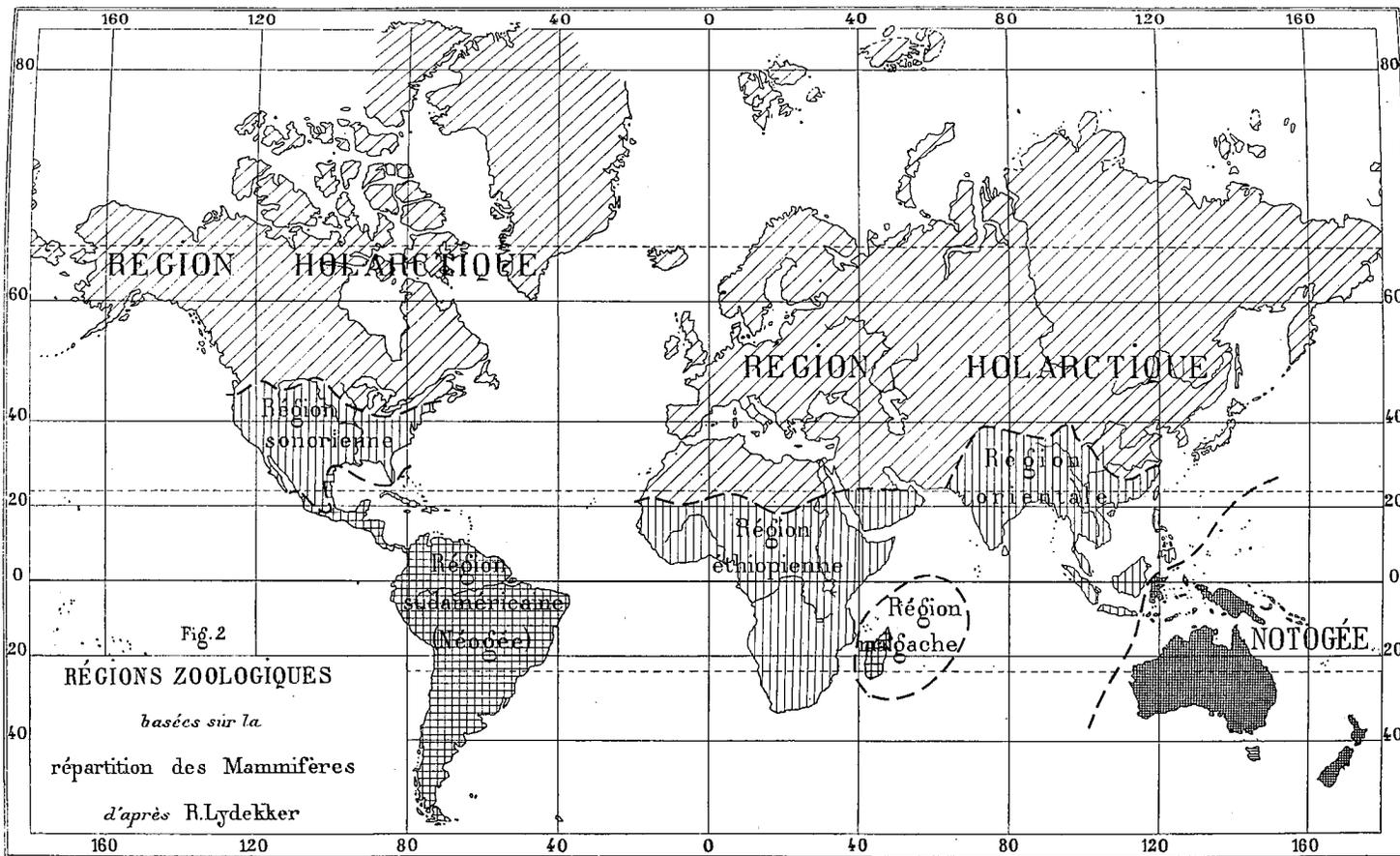
vie (1). On s'est basé aussi sur la répartition des Struthionidés, des Tortues géantes, du genre *Peripatus*, des familles primitives d'Annelides oligochètes (Acanthodrilidés, Eudrilidés), etc.; pour conclure que les types primitifs ont toujours été refoulés vers le sud par des types mieux armés pour résister au refroidissement graduel des régions polaires (2). En ce qui concerne le refoulement vers le sud de la faune mio-pliocène par la faune pléistocène holarctique, on doit évidemment s'arrêter à cette hypothèse, mais elle n'est plus suffisante lorsqu'il s'agit de l'invasion de l'Europe et de l'Amérique du Nord par une faune cryptogène au début du Miocène, et lorsque Huxley a voulu expliquer l'apparition brusque des Mammifères Placentaires au début de l'Eocène, il a dû avoir recours à l'hypothèse d'un continent pacifique, sur lequel ces êtres auraient vécu pendant la durée des temps secondaires.

On connaît d'autre part un certain nombre d'exemples de migrations d'espèces de l'hémisphère sud vers l'hémisphère nord, de sorte que la théorie de l'origine polaire de la vie doit être rejetée. Il est bien plus rationnel d'admettre que chaque unité continentale a eu sa faune propre tant qu'elle est restée isolée, que des immigrations se produisent chaque fois que des communications par terre s'établissent avec une unité voisine et que la faune la mieux organisée dans la lutte pour l'existence arrive à s'implanter et à refouler la faune autochtone dans les parties les plus reculées du continent. Si plus tard l'unité continentale est morcelée par un effondrement partiel, les résidus de faunes permettront de rétablir par la pensée l'ancienne connexion. On voit quels services précieux peut nous rendre l'étude des faunes terrestres dans les essais de reconstitution des continents morcelés. Partant des principes que je viens d'énoncer, je vais donc tenter de reconstituer les caractères zoogéographiques de chacune des unités continentales dont j'ai fixé précédemment les limites. L'histoire paléobotanique des continents de l'hémisphère sud viendra confirmer et compléter les résultats acquis par l'étude des faunes terrestres.

CONTINENT NORDATLANTIQUE. — Plusieurs auteurs ont déjà insisté sur la similitude que présente le développement des Vertébrés

(1) V. SUESS, *loc. cit.*, et F. E. BEDDARD. A Text-Book of Zoogeography, p. 227. Cambridge, 1895.

(2) Le pôle antarctique ne peut entrer en ligne de compte, les Mammifères terrestres faisant entièrement défaut aujourd'hui sur les terres australes. Nous verrons plus loin que la zoogéographie n'a aucun besoin de l'hypothèse d'un ancien continent antarctique.



secondaires en Europe et en Afrique. Je n'insisterai pas sur ces faits, car je serais amené à discuter les relations encore assez obscures qui existent entre la faune des couches de Karoo, dans l'Afrique australe, et les couches permienues et triasiques d'Europe, et celles, non moins obscures, qui unissent les Dinosauriens crétacés de Madagascar à ceux de l'hémisphère nord. Il semble que la faune mésozoïque de toute l'« Arctogée » ait été assez homogène.

Je rechercherai plus loin quel est le lieu d'origine probable des Mammifères Placentaires qui apparaissent brusquement au début de l'Eocène aussi bien en Europe que dans l'Amérique du Nord.

J'aborde donc tout de suite la partie intéressante du problème des relations paléontologiques entre l'Amérique du Nord et l'Europe, celle qui a trait aux faunes tertiaires.

Les affinités nombreuses qui existent entre les Mammifères de l'Eocène inférieur du bassin anglo-parisien et ceux des dépôts de même âge du centre des Etats-Unis ont été mises en évidence si souvent et par de si éminents savants (1) que je n'ai pas besoin de m'y arrêter. On sait que la faune de Cernay, près de Reims, correspond exactement à celle des couches de Puerco et que la faune sparnacienne est extrêmement voisine de celle des couches de Wasatch. Les genres communs aux deux régions sont si nombreux qu'il n'est pas possible de mettre en doute l'existence d'une communication directe entre l'Amérique du Nord et l'Europe au travers de l'Atlantique. Le peu que nous savons de la faune de l'étage parisien d'Europe nous montre que cette faune n'est qu'un écho affaibli de celle de Bridger, dans le Wyoming. Il est manifeste que la communication n'était pas moins facile qu'à l'Eocène inférieur.

Mais déjà à l'Oligocène inférieur (Eocène supérieur pour beaucoup d'auteurs) la différenciation entre la faune nordaméricaine (Uinta) et la faune européenne (Gypse de Paris, phosphorites du Quercy p. p., Sidérolitique suisse p. p., etc.) commence à s'accroître. D'après M. Zittel la jonction entre les deux continents paraît avoir encore existé, mais la communication serait devenue plus difficile. Lors de l'Oligocène moyen et supérieur (en Amérique : White River) il en est de même, mais, contrairement à ce qui avait lieu à l'Eocène, c'est l'Europe qui envoie son trop plein au Nouveau-

(1) V. surtout : A. GAUDRY. Similitudes dans la marche de l'évolution sur l'Ancien et le Nouveau Continent, *B. S. G. F.*, 3^e s., t. XIX., p. 1024-1033, 1892. — K. A. VON ZITTEL. Généralités sur le développement géologique, la descendance et la répartition des Mammifères. *Traité de Géol.*, trad. Barrois, t. IV, p. 727-772, 1894.

Monde et les immigrants peuvent atteindre le Dakota et l'Oregon, où ils se mélangent à des éléments autochtones.

Avec le début du Miocène (Langhien ou Burdigalien) un événement important se produit en Europe, c'est l'arrivée brusque, par immigration, de types étrangers, les Proboscidiens (*Mastodon*, *Dinotherium*) et les Singes catarrhiniens. En Amérique ces derniers font entièrement défaut et les Mastodontes apparaissent un peu plus tard qu'en Europe. En effet, ils ne sont pas connus dans les « John Day beds », qui correspondent au niveau de Sansan, à en juger par la coexistence des genres *Anchitherium* et *Aceratherium* et leur premier représentant se rencontre dans les « Deep River beds » des États de l'Ouest. On pourrait être tenté de les considérer comme des immigrants venus d'Europe, si l'on ne savait pas que désormais les communications directes avec l'est ont entièrement cessé. C'est évidemment par le Nord de l'Asie qu'ont lieu maintenant les échanges entre l'Ancien et le Nouveau Monde. J'en vois une preuve dans le fait suivant. Les Camélidés sont essentiellement d'origine américaine, leur filiation est connue, ils manquent entièrement dans les dépôts néogènes d'Europe, mais on les connaît dans les dépôts miocènes des Sivaliks et dans les dépôts pléistocènes de Sibérie, de la Russie méridionale, de Roumanie (1) et d'Algérie. C'est donc de l'est à l'ouest, en venant d'Amérique, qu'ils ont envahi l'Asie, puis l'Europe orientale et l'Afrique du Nord.

Si les Mastodontes ont pénétré en Amérique par l'ouest, il y a tout lieu de croire qu'ils venaient d'Asie et c'est également en Asie que je suis porté à chercher l'origine des types cryptogènes du Miocène d'Europe. Ce n'est d'ailleurs qu'au Miocène que les faunes asiatiques ont pu envahir l'Europe, car à l'Eocène inférieur et à l'Oligocène un bras de mer longeant l'Oural séparait les deux pays qui plus tard devaient se réunir pour former l'Eurasie.

La faune holarctique paraît, elle aussi, originaire de l'Asie septentrionale (2), elle s'est répandue au début de la période glaciaire dans toute l'Europe et dans l'Amérique boréale, refoulant vers le sud les faunes mio-pliocènes. Elle descend cependant par filiation directe d'une faune dont les affinités avec la faune pliocène d'Europe étaient assez grandes. Quant aux communications directes entre l'Europe et l'Amérique du Nord, depuis le début de l'Oligocène elles devenaient de plus en plus imparfaites, pour cesser entièrement

(1) Gr. STEFANESCU. Le Chameau fossile de Roumanie. *Anuarulă Museului de Geologie și de Paleont.*, ann. 1894. Bucarest, 1895, p. 89-123.

(2) BRANDT, cité par ZITTEL. *Traité de Paléont.*, t. IV, p. 768.

d'exister vers la fin du Miocène. Mais, dans tous les cas, les arguments paléogéographiques tirés des Mammifères terrestres confirment d'une manière éclatante l'hypothèse d'un continent nordatlantique, qui aurait encore existé intégralement au début de l'ère tertiaire.

CONTINENT SINO-SIBÉRIEN. — Nous ne possédons aucun document paléontologique sur les faunes terrestres du continent sino-sibérien antérieures au Miocène, mais en revanche nous pouvons admettre que les éléments cryptogènes qui font leur apparition au début du Miocène d'Europe sont originaires de ce continent. C'est dans l'Asie centrale et boréale que, sans doute, les Proboscidiens, dont la filiation est encore enveloppée de mystère, s'étaient développés pendant l'Eocène et l'Oligocène.

Les rares gisements miocènes ou pliocènes du Thibet, de la Chine méridionale, du Japon, des Philippines renferment la même faune que les « Siwalik-beds » de la région sous-himalyenne, de l'Inde péninsulaire, de l'Indo-Chine et des îles de la Sonde. C'est une faune beaucoup plus voisine de la faune orientale actuelle que de la faune holarctique, aussi est-ce plus au nord, probablement en Sibérie, que s'est développée cette dernière, peut-être par adaptation graduelle d'une faune à affinités orientales à un climat rigoureux. Cette faune sibérienne se serait ensuite répandue au Pléistocène sur toute la région holarctique actuelle. En Asie, on a trouvé, notamment dans des grottes de l'Altaï (1), des restes nombreux de Mammifères, qui montrent l'identité complète de cette faune avec les faunes pléistocènes d'Europe et d'Amérique.

En résumé, le seul résultat relatif à l'existence d'un ancien continent sino-sibérien qui découle de nos connaissances paléontologiques sur les faunes de l'hémisphère nord, c'est que nous pouvons considérer comme à peu près certain l'isolement de ce continent à une époque antérieure au Miocène et sa réunion aux continents voisins au début de cette période.

CONTINENT AUSTRALO-INDO-MALGACHE. — Les restes de l'ancien continent dont nous avons admis l'existence sur l'emplacement de l'océan Indien appartiennent aujourd'hui à trois provinces zoologiques différentes. L'Australie constitue une région totalement indépendante; l'Inde péninsulaire est réunie à l'Asie et appartient à la région orientale; Madagascar forme avec ses dépendances une région autonome, dont les relations zoogéographiques avec l'Afrique

(1) F. BRANDT. Nouvelles recherches sur les restes de Mammifères trouvés dans les cavernes de l'Altaï. Résumé par E. Oustalet. *Ann. Sc. géol.*, t. II, art. 5, 1870.

et celles beaucoup moins grandes avec l'Inde seront discutées plus loin.

Nous avons vu que la séparation du continent australo-indo-malgache et du continent africano-brésilien, par l'établissement du détroit de Mozambique, date sans doute seulement du début de la période jurassique. Cette conclusion géologique est confirmée, non pas par des documents paléozoologiques, qui font encore à peu près défaut, mais par d'importantes données paléobotaniques. L'étude des végétaux de la fin des temps primaires a montré avec évidence que l'Amérique du Sud, l'Afrique australe, l'Inde péninsulaire, l'Australie et la Nouvelle-Zélande étaient réunies en une masse continentale unique, caractérisée par la flore dite à *Glossopteris*.

On sait que jusqu'au milieu de la période carbonifère la plus grande uniformité régnait dans la répartition des flores à la surface de la Terre. Ce n'est qu'au Stéphanien que les flores de l'hémisphère sud (y compris l'Inde péninsulaire) ont commencé à se différencier de celles de l'hémisphère nord, de sorte que le « continent à *Glossopteris* » a constitué au Stéphanien et au Permien une province botanique indépendante, distincte de la province septentrionale (1). Sa flore caractéristique est probablement originaire des régions australes et elle s'étend graduellement vers le nord, atteignant même l'Europe à la fin du Permien.

La grande uniformité que présente partout la flore à *Glossopteris*, sauf sur le bord septentrional du continent, où elle se mélange à la flore de l'hémisphère nord, nous démontre avec certitude la réunion de l'Amérique du Sud avec l'Afrique australe, celle de l'Afrique australe avec l'Inde et l'Australie. Elle vient appuyer les conclusions géologiques formulées plus haut.

Les affinités zoologiques entre l'Australie et l'Inde péninsulaire sont à peu près nulles. Si la connexion entre ces deux pays a existé, c'est qu'elle a été très anciennement rompue. La séparation est dans tous les cas antérieure à l'arrivée des Mammifères placentaires dans l'Ancien Continent, elle est par conséquent antétertiaire.

La séparation de Madagascar et de l'Inde péninsulaire est peut-être plus récente. Cependant les affinités entre les faunes des deux régions sont très faibles. M. W. T. Blanford (2) les a discutées avec un

(1) V. surtout l'excellent résumé de la question publié par M. R. ZEILLER : Les provinces botaniques de la fin des temps primaires. *Revue génér. des Sciences*. 15 janv. 1897.

(2) W. T. BLANFORD. Anniversary address of the President. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, t. XLVI, 1890, Proc., p. 88.

grand sens critique. Rejetant, avec M. Wallace, les arguments sur lesquels Sclater et Hartlaub avaient basé leur « Lémurie », il retient surtout les rapports extrêmement étroits qui existent entre les Oiseaux et les Mollusques terrestres des îles Mascareignes et ceux de l'Hindoustan péninsulaire. Or la nature granitique des Seychelles rend très vraisemblable l'ancienne jonction de ces îles avec Madagascar. M. Blanford conclut que la connexion entre Madagascar, les Mascareignes et l'Inde péninsulaire existait encore à la fin de l'époque crétacée, mais que pendant la période tertiaire l'ancienne masse continentale fut remplacée par une traînée d'îles suffisamment rapprochées pour permettre la dispersion d'un certain nombre d'êtres, mais trop éloignées pour que les Mammifères terrestres aient pu se répandre de l'une à l'autre.

CONTINENT AFRICANO-BRÉSILIEN. — L'Amérique du Sud et l'Afrique, qui, d'après Neumayr, formaient au Jurassique un continent unique, constituent aujourd'hui deux provinces zoologiques bien distinctes : la « région néogéique » ou « Néogée » aussi appelée « région austro-columbienne » (Huxley), qui s'étend au nord jusqu'au pied du plateau mexicain, et la « région éthiopienne », qui comprend toute l'Afrique au sud du Sahara.

La région éthiopique est caractérisée actuellement par une faune qui, comme nous l'avons vu plus haut, descend directement de la faune mio-pliocène d'Europe. Quoique les documents paléontologiques sur l'Afrique fassent entièrement défaut, nous avons de bonnes raisons d'admettre qu'antérieurement au Pliocène l'Afrique était habitée par une faune bien différente, dépourvue tout au moins de Proboscidiens et de grands Singes, car au Miocène le continent éthiopien était séparé de l'Europe par un large bras de mer, qui n'avait pas dû permettre la diffusion des types nouvellement venus en Europe.

Certains types archaïques, qui constituaient vraisemblablement alors la faune de l'Afrique, vivent encore, à l'époque actuelle, sur ce continent. Tels sont les Hyracoïdés, qui manquent totalement dans le Miocène de l'Europe occidentale et de l'Inde (1), mais vivent aujourd'hui dans l'Afrique méridionale et orientale, ainsi qu'en Arabie et en Syrie (dépendances de la région éthiopique). Tels sont encore les Lémuriens, qui font entièrement défaut dans les dépôts miocènes et pliocènes de l'Amérique du Nord, de l'Europe et des

(1) On connaît des représentants fossiles des Hyracoïdés (*Pliohyrax*) dans le Miocène supérieur de Pikermi (A. Gaudry) et de l'île de Samos (Schlosser, Forsyth Major). Ils sont peut-être d'origine africaine.

Siwaliks, mais qui existent actuellement en Afrique, à Madagascar et dans la région orientale. On sait que leurs ancêtres (*Anaptomorphus*, *Necrolemur*) ont laissé des restes dans les dépôts éocènes de l'Amérique du Nord et oligocènes d'Europe.

L'histoire paléontologique de l'Amérique du Sud est beaucoup mieux connue que celle de l'Afrique et cependant la plus grande obscurité règne encore en ce qui concerne l'âge et la nature des faunes de Mammifères les plus anciennes qui aient apparu sur ce continent. Les « couches à *Pyrotherium* » ont été attribuées par M. H. Ameghino au Crétacé, mais cette assimilation a été vivement combattue par M. Hatcher (1), qui conteste même l'homogénéité de leur faune. D'autre part, M. Santiago Roth a signalé la présence de quelques Mammifères placentaires dans des couches de Patagonie qui seraient incontestablement crétacées (2). Quoi qu'il en soit de ces gisements encore mal connus, il est certain que la faune « santacruzienne » n'est pas plus ancienne que l'Oligocène (Hatcher, Lydekker, Schlosser). Or, cette faune ne ressemble à aucune des faunes de même âge et elle diffère notamment du tout au tout des faunes miocènes de l'Amérique du Nord.

Je rappellerai que les principaux groupes de Mammifères que l'on rencontre dans le Santa-Cruzien sont les suivants : Allothériens, Marsupiaux, Sparassodontes, Edentés très nombreux, Ongulés tout à fait spéciaux (*Litopterna*, *Typrotheria*, *Toxodonta*, *Astrapotheria*), Rongeurs hystricomorphes, Singes platyrhiniens. Une partie des types propres à la faune sudaméricaine actuelle dérive directement des types santacruziens, mais il s'est produit à la fin du Pliocène un événement géologique très important, grâce auquel le caractère général de la faune s'est trouvé profondément modifié. Des communications se sont établies entre les deux Amériques, de sorte que des échanges de faunes ont eu lieu entre les deux continents (3). C'est pourquoi les faunes pliocène supérieure (Monte Hermoso) et pléistocène (Pampéen) de l'Amérique du Sud ne possèdent plus, malgré leurs particularités remarquables, un caractère aussi spécial qu'aux époques précédentes.

En comparant les faunes fossiles de l'Amérique méridionale à la faune actuelle de la région éthiopique, je constate tout d'abord

(1) J. B. HATCHER. On the Geology of Southern Patagonia. *Amer. Journ. of Science*, 4th ser., vol. IV, p. 326-354, 1897.

(2) Santiago Roth. Aviso preliminar sobre Mamíferos mesozoicos encontrados en Patagonia. *Revista del Museo de La Plata*, t. IX, p. 381-388, 1899.

(3) V. ZITTEL. *Traité de Paléontol.*, t. IV, trad. Barrois, p. 760.

qu'aucun des groupes qui caractérisent le Santa-Cruzien n'est représenté en Afrique, leur absence à Madagascar est non moins frappante. Inversement, je constate l'absence dans le Santa-Cruzien de tous les groupes de Mammifères qui impriment à la faune malgache un cachet si particulier : les Insectivores, les Viverridés, les Lémuriens. Dans la comparaison de la faune africaine avec les faunes fossiles sudaméricaines je fais abstraction, bien entendu, des éléments nordaméricains de la faune pléistocène, tels que les Equidés, les Camélidés, les Suidés, les Cervidés, les Proboscidiens, les Canidés, les Félidés, répandus dans toute l'Arctogée. Mais il est un fait que je tiens à mettre en évidence, c'est la présence d'Hyracoïdés, c'est-à-dire d'un type que l'on est habitué à considérer comme essentiellement éthiopique, dans les couches à *Pyrotherium*. L'absence des Hyracoïdés dans le Santa-Cruzien est d'autant plus remarquable, à moins que l'on ne veuille admettre, avec Noack, leurs affinités avec les Toxodontes (1).

Si maintenant on compare la faune actuelle de la Notogée à la faune éthiopique actuelle, on constate des affinités plus considérables, surtout si l'on envisage les animaux autres que les Mammifères. Avec son érudition habituelle, M. W. T. Blanford, dans son adresse présidentielle devant la Société Géologique de Londres (2), a mis en évidence ces affinités. Les groupes auxquels il fait appel sont les Lamellibranches (*Ætheriidae*), les Poissons, les Batraciens, les Lacertiens, les Ophidiens, les Rongeurs (*Octodontidae*); tous ces groupes comprennent des genres ou des sous-familles, voire même des familles entières, qui sont localisées exclusivement dans les deux régions sudaméricaine et éthiopique. M. Ihering est arrivé de son côté à des résultats analogues.

Mais les affinités sont encore plus frappantes, si au lieu de comparer la faune de la Notogée à celle de l'Afrique continentale, on la compare, comme le fait également M. Blanford, avec Madagascar et les Mascareignes. On constate alors que, parmi les Gastropodes, les *Cyclostomatidae* ne sont nulle part plus abondants que dans les Mascareignes et les Antilles; que, parmi les Batraciens anoures, les *Dendrobatidae* ne comportent qu'un genre propre aux Mascareignes (*Mantella*) et un genre néotropical (*Dendrobates*); que deux genres américains d'Iguanidés se rencontrent également à Madagascar; que, parmi les Chéloniens de la famille des *Pelome-*

(1) V. LYDEKKER. *Loc. cit.*, p. 85.

(2) *Loc. cit.*, p. 99.

duvidæ, le genre *Podocnemis* n'existe qu'à Madagascar et en Amérique. M. Blanford rappelle aussi que, en ce qui concerne les Ophiidiens, les relations des genres de Madagascar et des Mascareignes sont bien plutôt avec l'Amérique qu'avec l'Afrique. Enfin, parmi les Mammifères, une famille d'Insectivores propre à Madagascar, celle des *Centetidæ* ou Tenrecs, est assez proche parente des *Solenodontidæ* des Antilles.

Voici les conclusions que l'on peut tirer de ces nombreuses affinités. L'Amérique du Sud et l'Afrique étaient réunies autrefois en un seul continent. La faune qui occupait tout ce continent, faune assez voisine de la faune oligocène d'Europe, a laissé quelques survivants dans la Néogée, tandis que, d'autre part, un certain nombre de ses représentants ont pu pénétrer, à un moment où le détroit de Mozambique était fermé, dans la région malgache, où ils se sont développés et se sont conservés jusqu'à nos jours, puisqu'ils n'avaient pas à lutter avec la concurrence de la faune mio-pliocène, qui plus tard a envahi toute l'Afrique.

La communication entre l'Amérique du Sud et l'Afrique a dû cesser d'exister avant l'Oligocène ou le Miocène, c'est-à-dire avant le moment où la faune santacruzienne a envahi l'Amérique du Sud, car aucun des éléments caractéristiques de cette faune n'a encore été rencontré en Afrique ou dans la région malgache. Je discuterai dans le paragraphe suivant la question du lieu d'origine de la faune santacruzienne et des faunes sudaméricaines qui l'ont précédée.

On s'est souvent demandé par où se faisait la communication entre l'Amérique du Sud et l'Afrique, au moment où des échanges de faunes avaient lieu entre ces deux régions. On a imaginé l'hypothèse d'un continent antarctique qui les aurait réunies sous des latitudes australes et qui aurait également réuni l'Amérique du Sud à la Nouvelle-Zélande et à l'Australie. Les faits géologiques s'opposent à cette hypothèse; nous avons vu, en effet, que, non seulement au Dévonien, mais encore au Crétacé inférieur, les mers qui couvraient l'extrême Sud de l'Amérique communiquaient directement avec celles qui baignaient l'Afrique australe, de sorte que l'Amérique du Sud et l'Afrique se trouvaient séparées, par un bras de mer, des terres antarctiques, en admettant que celles-ci aient existé. C'est donc uniquement au nord de ce bras de mer, au travers de l'Atlantique actuel, que pouvait se faire la communication entre les deux masses continentales aujourd'hui séparées.

Les considérations qui précèdent viennent donc à l'appui de l'hypothèse formulée par Neumayr d'un continent « brasiliano-éthiopien » ou africano-brésilien.

CONTINENT PACIFIQUE. — Partant de l'idée que les Mammifères placentaires de l'Eocène inférieur d'Europe (et d'Amérique) supposent nécessairement des ancêtres monodelphes crétacés, Huxley (1) a émis, dès 1870, l'hypothèse que ces ancêtres auraient vécu pendant l'époque crétacée sur un continent d'où ils se seraient répandus *par immigration* en Europe (et en Amérique) au début des temps tertiaires. Il suppose que ce continent mésozoïque devait se trouver sur l'emplacement du Pacifique nord. Dans l'état actuel de nos connaissances, c'est encore cette hypothèse qui explique le mieux l'arrivée simultanée de plusieurs groupes cryptogènes de Mammifères placentaires en Amérique et en Europe. Il est probable que c'est également sur ce continent pacifique que vivaient les Dicotylédones avant qu'ils n'envahissent l'Amérique et l'Europe occidentale, au Crétacé inférieur, et l'Europe centrale, au Crétacé moyen.

On peut admettre que le continent pacifique a continué à exister pendant une partie de l'époque tertiaire et que des Mammifères ont continué à y vivre, suivant peut-être une évolution différente dans ses divers fragments. C'est une de ces faunes différenciées qui aurait ensuite envahi l'Amérique du Sud avant l'époque miocène, alors que ce continent se trouvait encore réuni à l'Afrique. Puis, après la séparation de l'Afrique et de l'Amérique du Sud, serait arrivée la faune santacruzienne, originaire, elle aussi, d'un de ces fragments pacifiques. Mais tout ceci est du domaine de l'hypothèse pure !

Prenant comme point de départ des considérations toutes différentes, G. Baur (2) est arrivé, lui aussi, à la conclusion de l'âge récent de l'océan Pacifique.

Les caractères particuliers de la faune des îles Galapagos avaient déjà frappé Darwin, qui avait remarqué que certains genres, répandus sur tout l'archipel, sont représentés sur chaque île par des espèces spéciales. Les recherches de Baur ont confirmé cette constatation remarquable. Les Galapagos ne peuvent donc avoir reçu leur faune d'un continent voisin, car cette faune serait la même dans toutes les îles. Les faunes propres à chaque île dérivent certainement d'une faune unique, commune à tout l'archipel, et les

(1) HUXLEY. Anniversary Address of the President. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, vol. XXVI, 1870, *Proc.*, p. XXI-LXIV.

(2) G. BAUR. New observations on the origin of the Galapagos Islands, with remarks on the geological age of the Pacific Ocean. *The American Naturalist*, vol. XXXI, p. 661-680, 864-896, 1897.

différentes espèces d'un même genre ont évolué indépendamment l'une de l'autre, grâce à l'isolement subséquent des îles. L'uniformité primitive de la faune suppose l'existence d'une masse continentale réunissant l'ensemble de l'archipel, masse dont toutes les parties basses auraient disparu sous les eaux, grâce à un affaissement graduel. Cette masse continentale aurait communiqué primitivement avec l'Amérique centrale, ce qui est tout à fait en harmonie avec l'hypothèse d'après laquelle ce pays aurait fait partie autrefois du continent Pacifique.

G. Baur envisage les Galapagos comme des « îles continentales », à faune « disharmonique », et non comme des « îles océaniques », nées au milieu de l'océan grâce à des éruptions volcaniques, îles qui possèdent des faunes « harmoniques », originaires d'un continent voisin.

Les conclusions tirées de la faune des îles Galapagos s'appliquent, d'après Baur, à l'ensemble des îles du Pacifique. Des exemples empruntés aux Zoanthaires (*Pocillopora*, *Trapeziidæ*), aux Décapodes (*Atyidæ*), aux Fourmis, aux Lacertiens (*Geckonidæ*, *Scincidæ*), aux Columbides, aux Sturniformes montrent la grande extension des familles et des genres dans les îles de l'Océanie et la localisation des espèces à des îles isolées ou à de petits archipels. Baur suppose que toute la région pacifique était d'abord continentale et avait une faune uniforme, qu'ensuite le continent s'est affaissé, de sorte que des restes de la faune primitive ont survécu sur chaque île en suivant une évolution indépendante. Les Mammifères et d'autres groupes auraient disparu, ne trouvant plus les conditions d'espace voulues. D'ailleurs les mêmes considérations indiquent également d'anciennes relations avec les îles de l'océan Indien.

L'hypothèse d'un ancien continent pacifique explique aussi fort bien les quelques relations qui existent entre la faune de l'Amérique du Sud et celles de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande, relations qui ont été mises en évidence par M. Blanford (1); elle nous dispense, dans tous les cas, d'admettre l'existence d'un ancien continent austral, qui aurait réuni à la fois l'Amérique du Sud, l'Afrique et l'Australie.

RÉSUMÉ. — Il résulte de ce sommaire exposé que les documents zoogéographiques viennent en tous points confirmer les conclusions relatives à l'existence d'anciens continents bien différents des conti-

(1) *Loc. cit.*, p. 99.

nents actuels, conclusions obtenues précédemment par des considérations purement géologiques. Par une série de déductions empruntées à la zoogéographie, nous sommes conduits à admettre l'ancienne existence d'un *continent nordatlantique*, d'un *continent sino-sibérien*, d'un *continent africano-brésilien*, d'un *continent australo-indo-malgache*, d'un *continent pacifique*.

L'Australie actuelle semble s'être séparée de très bonne heure aussi bien de la région indo-malgache que du continent pacifique et dès le Crétacé elle était sans doute entièrement isolée. Au début de l'Eocène, les Mammifères placentaires, qui s'étaient développés sur le continent pacifique, envahissent le continent nord-atlantique et probablement toute l'Arctogée et la Notogée. Avant le Miocène l'Amérique du Sud se trouve séparée définitivement de l'Afrique et, aussitôt après, elle est envahie par une faune nouvelle à éléments tout à fait spéciaux. A peu près en même temps, l'Inde péninsulaire cesse de former un tout avec la région malgache, qui devient tributaire de l'Afrique. Au début du Miocène une faune nouvelle, originaire probablement du continent sino-sibérien, envahit l'Europe, puis l'Amérique du Nord et l'Afrique. La faune oligocène est refoulée jusqu'à Madagascar, où ses descendants vivent encore actuellement.

Les communications entre les deux moitiés du continent nord-atlantique, difficiles dès l'Oligocène, cessent d'exister ; en revanche, l'Eurasie se trouve constituée. Au Pliocène, les deux Amériques sont réunies et il se produit des échanges de faunes entre les deux continents. Au début du Pléistocène une nouvelle faune, « holarctique », probablement d'origine asiatique, envahit l'Amérique boréale et l'Europe, refoule la faune mio-pliocène de l'Amérique du Nord dans la région sonoriennne et celle d'Europe dans les régions « éthiopienne » et « orientale ».

III. — Le morcellement des continents.

James Dana avait émis l'hypothèse que les continents s'accroissent par additions successives, sur leurs bords, de zones de plissement de plus en plus récentes. M. Marcel Bertrand a pu montrer (1) que cette règle se vérifie pour l'Europe, en établissant que les trois systèmes de montagnes distingués par M. Suess (2), calédonien,

(1) Marcel BERTRAND. La chaîne des Alpes et de la formation du continent européen. *B. S. G. F.*, 3^e sér., t. XV, p. 423-447, 1887.

(2) Ed. SUSS. Ueber unterbrochene Gebirgsfaltung. *Sitzb. d. k. Akad. d. Wiss.*, Bd. XCIV, Abth. I, p. 111-117, 1886.

armoricain-varisque, alpin, se forment successivement, du nord au sud, chacun en retrait du précédent, en bordure de l'ancien continent archéen. On peut généraliser la règle et l'appliquer à l'ensemble du continent nord-atlantique. Peut-être pourra-t-on démontrer un jour qu'elle est vraie pour tous les continents. Je ne possède pas les éléments nécessaires à la discussion de cette question, qui d'ailleurs m'écarterait par trop du but que je me suis proposé dans le présent travail.

Les régions ainsi adjoindues aux masses continentales ne sont pas soustraites à tout jamais au milieu marin. Le continent peut être envahi temporairement, sinon en totalité, du moins en grande partie, par des mers qui conservent une faible profondeur, de sorte que le seuil continental continue à subsister. C'est à ces invasions marines d'un continent que l'on devrait réserver le nom de *transgression*. Mais certaines parties du continent peuvent aussi être affectées par des plissements localisés, qui reproduisent sous une forme très atténuée les plissements anciens et que M. Suess a appelés, pour cette raison, des plissements posthumes. Il se formera ainsi des parties surélevées et des dépressions et la mer pourra pénétrer dans celles-ci, tandis que celles-là resteront émergées. On peut employer le terme d'*ingression*, proposé par M. Penck (1), pour désigner cette catégorie d'invasions marines. L'intégrité du continent se trouvera entamée, mais non détruite. Dans d'autres cas, par contre, le morcellement sera le résultat de véritables phénomènes d'effondrement. Il se produira des failles verticales, le long desquelles des bandes de terrain s'affaisseront, de sorte que des *fosses* prendront naissance, qui ne tarderont pas à être envahies par la mer. Les *horsts* resteront en saillie. Enfin, une masse continentale pourra s'effondrer tout entière, une profonde dépression occupera son ancien emplacement et se trouvera limitée par des fractures périphériques, jalonnées par des volcans. Je vais passer en revue ces divers modes de morcellement des anciens continents.

AIRES DE SURÉLÉVATION ET AIRES D'ENNOYAGE. — De même que chaque pli, anticlinal ou synclinal, peut présenter, dans le sens longitudinal, des ondulations d'axe, les faisceaux de plis peuvent subir dans leur ensemble des ondulations longitudinales telles que sur une même ligne transversale, les axes de tous les plis sont surélevés ou abaissés. Il résultera de ces ondulations, que j'attribue à des variations dans l'intensité du plissement, des apparences de

(1) A. PENCK. Morphologie der Erdoberfläche, I, p. 156.

plissement transversal. Je dis des « apparences », puisqu'il me paraît difficile, sauf dans des cas exceptionnels, d'admettre l'existence de forces tangentielles agissant concurremment à angle droit sur une même bande de l'écorce terrestre.

Dès 1872, Hébert (1), signalait dans le bassin de Paris l'existence de plissements « perpendiculaires » croisant les plissements principaux. M. Gustave Dollfus (2) nous a donné, en 1890, une étude très complète de ces deux systèmes d'ondulations. Deux ans après, M. Marcel Bertrand (3), généralisant les résultats obtenus par ses devanciers, formulait la règle suivante : « la Terre se déforme progressivement, en se ridant suivant un réseau de courbes orthogonales, les premières circumpolaires, les secondes convergeant vers les régions polaires. »

Depuis longtemps d'ailleurs on connaissait, dans les Alpes, des massifs de terrains cristallophylliens, isolés au milieu des terrains sédimentaires et désignés sous la dénomination générale de « massifs centraux. » Si l'on fait abstraction des véritables dômes, tels que le Mont Rose, ou des « massifs amygdaloïdes », tels que le Mont Blanc; on constate que la plupart de ces massifs sont dus à des surélévations de l'axe des plis dans un faisceau déterminé. L'un des meilleurs exemples est fourni par le massif de l'Aar. M. Heim (4) a montré très clairement que, dans son prolongement oriental, les plis de ce massif se continuent dans la dépression d'Elm et il a fait voir que, si dans le massif central la croûte terrestre a cédé à la compression latérale en se plissant vers le haut, dans la dépression elle a cédé vers le bas.

M. Termier (5) a signalé des cas encore plus remarquables d'ondulations longitudinales des plis dans les massifs des Grandes-Rousses et du Pelvoux. Ici chaque surélévation des plis fait affleurer les terrains cristallins et donne lieu à un massif, au sens géographique du mot, chaque abaissement des axes, chaque *envoyage* fait disparaître les mêmes terrains sous un manteau de terrains secondaires.

Je propose d'appeler *aire de surélévation* toute partie d'un faisceau

(1) E. HÉBERT. Ondulations de la craie dans le bassin de Paris. *B. S. G. F.*, 2^e sér., t. XXIX, p. 446-472, 583-594, pl. IV.

(2) G. DOLLFUS. Recherches sur les ondulations des couches tertiaires dans le bassin de Paris. *Bull. Serv. Carte Géol.*, n° 14.

(3) Marcel BERTRAND. Sur la déformation de l'écorce terrestre. *C. R. Acad. Sc.*, 22 févr. 1892.

(4) Alb. HEIM. Geologie der Hochalpen zwischen Reuss und Rhein. *Matér. Carte géol. Suisse*. Livr. XXV, p. 133, 1891.

(5) P. TERMIER. Sur la tectonique du massif du Pelvoux. *B. S. G. F.*, 3^e sér., t. XXIV, p. 751, 1897.

de plissement dans laquelle les axes des plis sont portés à une altitude maximum et *aire d'ennoyage* toute partie du même faisceau dans laquelle les axes se trouvent à leur minimum d'altitude (1).

C'est souvent grâce à l'existence des ondulations longitudinales d'un faisceau que la mer peut envahir partiellement une région plissée, elle pénètre dans les aires d'ennoyage et les aires de surélévation restent émergées, il y a ingression marine. Il peut y avoir intérêt à multiplier les exemples et à les répartir en plusieurs catégories.

Dans un premier groupe, l'ingression marine dans une aire d'ennoyage donne lieu à la formation d'un détroit. Ainsi, dans les Alpes françaises, la dépression de l'Embrunais correspond à un détroit de la mer nummulitique, séparant l'un de l'autre les massifs surélevés et émergés du Pelvoux et du Mercantour. Le détroit du Poitou, par lequel les mers crétacées du bassin de Paris et du bassin de l'Aquitaine communiquaient entre elles, est dû à l'ennoyage des plis méridionaux du Massif Armoricaïn et des plis nord-ouest du Massif Central et ces massifs sont, par excellence, des aires surélevées. C'est sans doute un rôle analogue que joue actuellement le détroit de Bass, entre la Tasmanie et le continent australien.

Dans un deuxième groupe d'exemples, l'ingression marine dans une aire d'ennoyage donne lieu à la formation d'un véritable bassin ou d'un golfe, car en arrière de la zone de plissements dans laquelle s'est formée la dépression se trouve une zone dans laquelle les plis n'ont pas subi d'abaissement d'axes et cette zone fait obstacle à l'envahissement de la mer. L'exemple classique de cette catégorie de golfes est le bassin de Paris à l'époque tertiaire et plus particulièrement au début de l'Eocène, alors qu'il n'existait aucune communication par la Manche avec les régions de l'Ouest. Pour les détails, il me suffira de renvoyer aux notes de M. Dollfus et de M. Marcel Bertrand. En France, un exemple non moins remarquable nous est fourni par le golfe des Causses à l'époque jurassique (2), quoique une communication au moins temporaire avec le bassin

(1) J'ai employé dans le même sens, dans des travaux antérieurs, les termes *d'aire anticlinale* et *d'aire synclinale*, je préfère aujourd'hui en restreindre l'usage à des faisceaux de plis dont l'ensemble se comporte comme un anticlinal ou comme un synclinal parallèle à la direction générale du plissement.

Comme équivalent allemand d' « aire de surélévation » je propose le terme d' « *Auffaltungsfeld* » et celui d' « *Einfaltungsfeld* » pour l' « aire d'ennoyage ».

(2) G. FABRE. Stratigraphie des petits causses entre Gévaudan et Vivarais. *B. S. G. F.*, 3^e sér., t. XXI, p. 640-674. — Id. Région des Causses. Livret-guide des excursions en France du VIII^e Congrès géol. intern. X, 2^e partie, p. 4, 1900.

de l'Aquitaine par le détroit de Villefranche ait certainement dû exister. L'aire d'ennoyage provient de l'abaissement d'axe que subissent les plis constituant au sud-ouest l'aire de surélévation de la Montagne Noire et au nord-est celle des Cévennes. L'abaissement des axes a dû se faire sentir pendant une grande partie de la période jurassique, de sorte que les sédiments se sont accumulés dans le golfe des Causses, comme ils l'auraient fait dans un géosynclinal, atteignant, d'après M. G. Fabre, une épaisseur totale d'au moins 4500 m.

Le bassin du Rhône lui-même a une origine analogue et c'est principalement grâce à l'abaissement d'axe des plis est-ouest le long du cours actuel du fleuve, que la mer pliocène a pu envahir la vallée jusqu'à Lyon. Je citerai encore le golfe du Mississipi, où, profitant d'un abaissement d'axe des plis qui unissent les Appalaches méridionales aux monts Ouachita, les mers paléogènes ont pu pénétrer très loin dans l'intérieur du continent nord-américain.

Enfin, je mets à part la Caspienne actuelle, qui est une aire d'ennoyage séparant le Balkhan du Caucase oriental. Elle est limitée au sud par l'Elbours. Au nord elle est sans limites tectoniques et la chaîne de Manghichlak, qui correspond au Balkhan, n'a pas de contre-partie sur la rive ouest.

L'individualisation des aires de surélévation et des aires d'ennoyage semble, en général, dater de l'époque du plissement principal de la zone tectonique dont ces aires font partie ; mais il est incontestable que, de même qu'une zone plissée peut être affectée par des mouvements posthumes suivant des directions parallèles à celle du plissement primitif, ces mouvements posthumes peuvent donner lieu à des ondulations dont les axes sont *perpendiculaires* à ceux des plissements, c'est-à-dire à des variations verticales dans le degré de surélévation et d'ennoyage. Il se produira des mouvements qui sont généralement connus sous la dénomination d'oscillations verticales et une partie tout au moins de ces mouvements pourra être ramenée à des plissements posthumes. Les auteurs américains ont désigné les oscillations verticales sous le nom de mouvements « épéirogéniques » (1), par opposition aux mouvements « orogéniques ». M. Le Conte (2) considère la recherche de leur cause comme le problème le plus inexplicable de la géologie, comme un problème que

(1) G. K. GILBERT. Lake Bonneville. *Monogr. of the U. S. Geol. Surv.*, vol. I, 1891, p. 341. De ἠπειρος, continent.

(2) Joseph LE CONTE. Earth-crust movements and their causes. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. VIII, p. 122, 1897.

« le moindre rayon de lumière n'est encore venu éclairer ». M. Suess, d'autre part, a mis en doute l'existence même des oscillations verticales.

Des travaux récents ont cependant démontré, pour certaines régions, telles que la Scandinavie, l'Amérique du Nord, que ces oscillations non seulement existent, mais qu'elles se sont fait sentir pendant toute la durée de la période pléistocène et jusqu'à nos jours, comme le pensaient les anciens auteurs. Par l'analyse des anciennes lignes de rivage et de leurs altitudes actuelles, des géologues éminents (1) ont pu établir que, dans le massif finno-scandinave, les points qui, à une époque déterminée, ont subi une oscillation verticale d'égale amplitude se trouvent sur des courbes concentriques et sensiblement parallèles au pourtour du massif (isobases). C'est donc un dôme à base grossièrement elliptique qui s'est successivement élevé et abaissé. Il correspond parfaitement à une aire de surélévation des plis, l'aire d'ennoyage correspondant à la mer du Nord. Conformément à cette manière de voir, le grand axe de l'ellipse est sensiblement parallèle à la direction des plis.

Les oscillations récentes du massif finno-scandinave sont peut-être trop complexes pour être envisagées comme de simples mouvements posthumes d'une aire de surélévation, mais cette interprétation convient certainement aux oscillations du massif armoricain qui ont déterminé des invasions marines successives de ce massif, pendant la période tertiaire. De même, l'ouverture et la fermeture répétées du détroit du Poitou peuvent être envisagées comme la conséquence d'oscillations verticales d'une aire d'ennoyage.

Je reviendrai plus loin sur les oscillations des massifs finno-scandinave et canadien, mais on voit, par ce qui précède, que certains mouvements que l'on a qualifiés d'épéirogéniques sont loin d'être aussi fondamentalement différents des mouvements orogéniques que le pensent les auteurs américains et qu'ils sont en relation directe avec les mouvements posthumes qui affectent les régions plissées.

J'ai à peine besoin d'ajouter que mon interprétation des oscillations verticales m'a été suggérée par les beaux travaux de M. Marcel Bertrand « sur la continuité du phénomène de plissement dans le bassin de Paris ». J'ai simplement substitué à la notion de plisse-

(1) J'ai résumé ces travaux de géologues suédois et finlandais dans ma dernière « Revue annuelle de Géologie ». *Revue générale des Sciences*, 30 août 1899, p. 630-634, 2 fig.

ments transversaux celle de surélévation et d'ennoyage des plis, mais comme on l'a vu, le point de départ est le même.

ZONES DE PLISSEMENTS SUR LE POURTOUR DES AIRES DE SURÉLÉVATION.
— M. Suess a fait ressortir d'une manière saisissante les analogies qui existent entre le massif finno-scandinave, qu'il appelle « bouclier baltique », et le massif archéen de l'Amérique du Nord, qu'il désigne sous le nom de « bouclier canadien ». L'un et l'autre constituent une aire de surélévation. Les deux massifs ne sont cependant pas tout à fait homologues, car, tandis que dans le bouclier canadien les terrains archéens et algonkiens sont seuls plissés, une large bande de Silurien plissé, prolongement de la zone des Grampians (fig. 3), traverse la Scandinavie dans toute sa longueur et sépare deux zones de Cambrien non plissé, celle des Hébrides et des Lofoten et celle de la Suède méridionale et de la Finlande. L'analogie entre les deux « boucliers » ne devient complète que vers la fin des temps paléozoïques. M. Suess a décrit les lignes de « Glint » qui bordent l'un et l'autre massif et il a montré que ces bords sont jalonnés aujourd'hui par des dépressions lacustres.

Mais il y a plus. Le massif finno-scandinave et le massif canadien sont séparés chacun de la zone des plissements carbonifères (« hercyniens ») par une large zone dans laquelle les terrains paléozoïques récents, avec, le cas échéant, leur couverture secondaire et tertiaire, n'ont subi que des ondulations à grands rayons de courbure (« Parmas » Suess). Cette zone constitue après le Carbonifère et jusque pendant la période tertiaire, une zone de dépression, géosynclinal peu profond, caractérisé le plus souvent par des faciès spéciaux, que l'on ne retrouve pas dans d'autres régions. C'est, en Europe, la bande formée par le Timan et par les contreforts de l'Oural, puis par une série de plissements (2) qui va des monts d'Inder et Bogdo, dans le Sud-Est de la Russie, au Yorkshire, comprenant la Kamennaja Grjada, la Lysa Gora et les collines subhercyniennes. C'est, en Amérique, le grand demi-cercle formé par le bord nord-ouest des Appalaches et par les Montagnes Rocheuses, qui sont reliées, comme on sait, par les monts Ouachita.

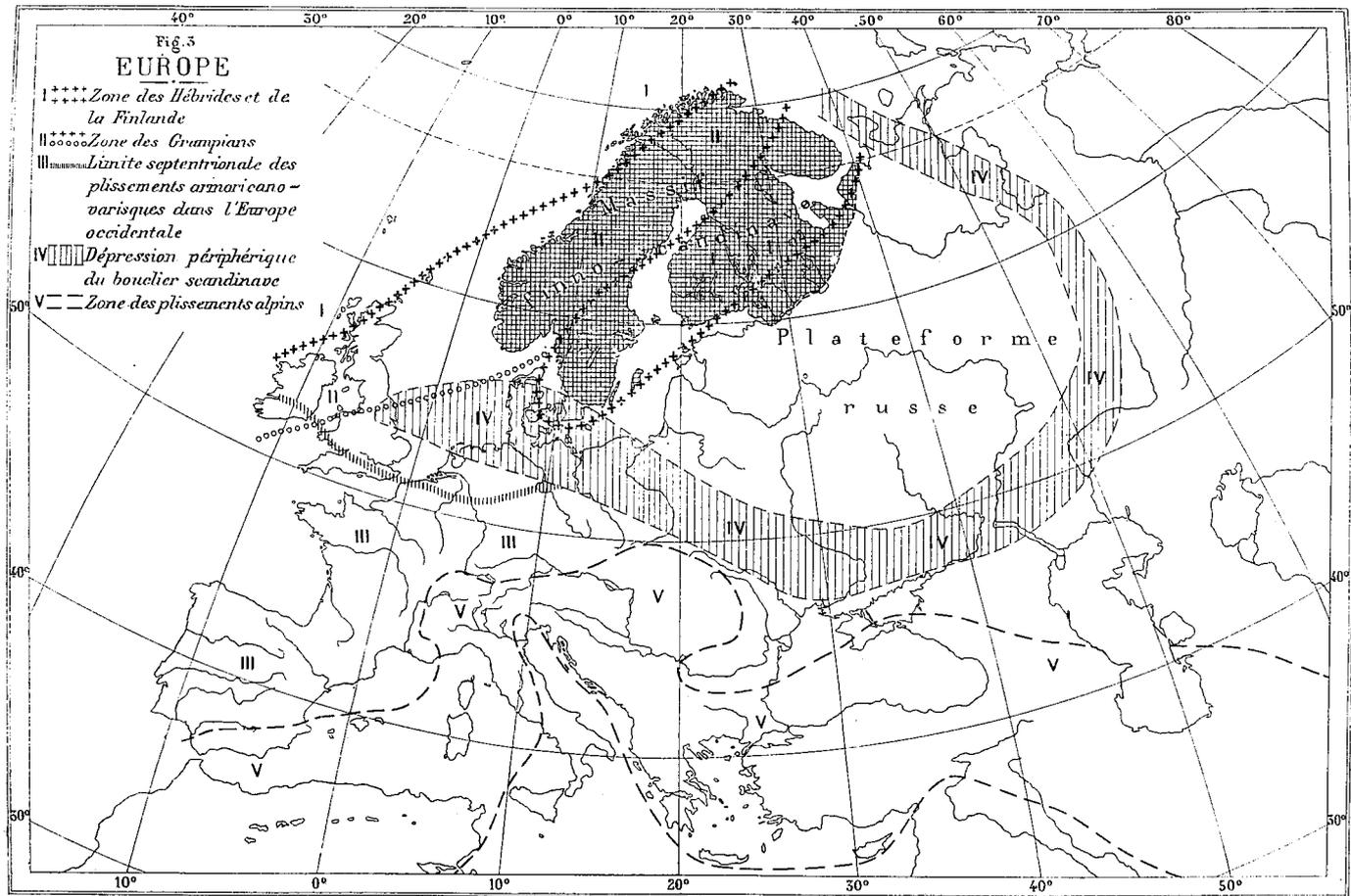
MM. von Richthofen, Marcel Bertrand (3) et Fr. Frech (4) ont fait

(1) Antlitz, t. II, chap. II.

(2) Les plissements paléozoïques de l'arrière-pays décrivant peut-être une courbe semblable, l'Oural se raccorderait par les plis N.E.-S.O. des Mogoudjares avec les chaînes anciennes du Sud de la Russie. C'est alors à l'est de l'Oural que se trouverait la continuation des rameaux déviés du Tian-Chan.

(3) Marcel BERTRAND. Les excursions du 7^e Congrès géologique international en Russie. *B. S. G. F.*, 3^e sér., t. XXV, p. 715-723, 1898.

(4) *Lethæa Palæozoica*, t. II, p. 426.



ressortir les analogies qui existent entre l'Oural et les Appalaches. M. Suess a comparé les Montagnes Rocheuses et leur avant-pays à l'Oural avec ses « Parmas ». L'une et l'autre comparaisons sont fondées ; mais il est encore plus instructif d'établir un parallèle entre l'ensemble de la ceinture qui entoure le « bouclier canadien » et l'ensemble de la ceinture qui entoure le « bouclier scandinave ». On constate alors des homologies frappantes qui mériteraient d'être mises en lumière par une étude comparative plus complète que celle que je puis entreprendre ici.

Dans l'un et l'autre cas, la courbe décrite par la ceinture s'éloigne considérablement du « bouclier » dans la région où s'opère le raccord de ses deux branches ; elle s'éloigne davantage que ne le font ces branches elles-mêmes. Chacun des « boucliers » possède ainsi dans la concavité de la ceinture une sorte de dépendance envahie par la transgression carbonifère ; en Europe c'est la plate-forme moscovite, en Amérique c'est la région des Prairies (Iowa, Illinois, Indiana). Les analogies de faciès que présentent les dépôts carbonifères inférieurs dans les deux régions sont tout à fait remarquables.

L'arrière-pays de chacune des deux ceintures présente également des homologies évidentes. L'Oural central et oriental, ainsi que le « Piedmont plateau » (1), prolongement des chaînes acadiennes, et la région centrale des Montagnes Rocheuses correspondent assez bien aux chaînes armoricano-varisques (hercyniennes) de l'Europe occidentale.

Si le caractère des plissements appalachiens se retrouve dans l'Oural, la structure en dômes allongés de la partie orientale des Montagnes Rocheuses n'est pas sans ressemblances avec l'allure des plis sur le bord méridional de la plaine de l'Allemagne du Nord et la disposition en « coulisses » se retrouve dans les deux régions. On pourrait d'ailleurs aussi voir des analogies entre la chaîne de l'Allemagne du Nord et les Appalaches ; car, de même que la chaîne américaine se termine manifestement dans l'état de New-York, puisque plus au nord les plissements de la région acadienne entrent en contact immédiat avec le « bouclier canadien », de même en Europe la chaîne qui limite au sud le « bouclier scandinave » ne se continue pas vers l'ouest au-delà du Yorkshire et manque entièrement dans l'Ouest de la Grande-Bretagne.

(1) Cette chaîne, de même que l'Oural, présente sur son bord oriental des plis déversés vers l'ouest. Comparer la coupe de M. Williams, Congrès de Washington, p. 272, et celle de M. Karpinsky. Guide du 7^e Congrès, exc. V, p. 17.

Mais les ressemblances entre les deux ceintures sont surtout évidentes si l'on compare les séries sédimentaires, à partir du Carbonifère.

Ainsi la faune si caractéristique des couches à *Schwagerina princeps* de l'étage Ouralien se retrouve dans le Kansas et dans le Nebraska (1), c'est-à-dire sur le bord occidental de la région des Prairies. Des Céphalopodes analogues à ceux des couches d'Artinsk ont été rencontrés dans les monts Ouachita et ont été décrits par M. White. Les analogies du Permien proprement dit sont encore plus frappantes et plus générales, car le faciès particulier connu sous le nom de Zechstein, avec sa faune si caractéristique, est jusqu'ici pour ainsi dire localisé sur le versant occidental de l'Oural, dans le Donetz, dans le Nord de l'Allemagne, dans le Nord de l'Angleterre, dans l'Est des Montagnes Rocheuses et dans leur avant-pays. Il est vrai que le Permien supérieur manque sur le revers occidental des Appalaches, mais je suis porté à croire qu'il s'y trouvait en discordance sur le Carbonifère et sur le Permien inférieur, comme dans le Nord de l'Allemagne et qu'il en a été enlevé avec les terrains secondaires par une dénudation ultérieure, car il me paraît difficile d'admettre que la communication de la Nouvelle-Ecosse, où le Zechstein se trouve également, avec le Texas et les Montagnes Rocheuses, se faisait autrement que par le détroit qui séparait le « bouclier canadien » du Piedmont-plateau.

En ce qui concerne le Trias, il y a lieu de faire remarquer que les seules régions où l'on connaisse actuellement, en dehors de la Tethys, des Céphalopodes du Trias, inférieur sont situées dans l'Idaho, c'est-à-dire dans la ceinture du « bouclier canadien », dans les monts Bogdo, c'est-à-dire dans la ceinture du « bouclier scandinave », enfin, à l'embouchure de l'Olenek et à celle de l'Oussouri, c'est-à-dire dans la bande qui, prolongeant l'Oural, borde au nord le continent sino-sibérien.

Dans l'Idaho l'épaisseur du Trias inférieur (« Meekoceras beds ») est énorme; d'après Peale (2) elle est d'environ 1.000 mètres. C'est dans un véritable géosynclinal qu'ont dû s'accumuler ces sédiments, mais la prédominance des formations grossièrement détritiques indique une faible profondeur des eaux. Considérée dans son ensemble, la plaine de l'Allemagne septentrionale formait également au Trias un vaste géosynclinal, mais la mer s'étendait en

(1) FRECH. *Lethæa Palæozoica*, t. II, p. 379.

(2) A. C. PEALE. Jura-Trias section of Southeastern Idaho. *Bull. U. S. Geol. a. Geogr. Surv. of the Territ.*, vol. V, p. 119-123, 1879.

outre, comme l'on sait, dans la grande dépression ou aire d'ennoyage comprise entre le massif armoricain et le massif de Bohême.

Au Jurassique il en est encore de même, mais il est incontestable que les dépôts ont souvent, dans le Nord de l'Allemagne, un caractère bathyal, qui manque aux dépôts de même âge du bassin de Paris. Ce n'est qu'au Callovien que la mer envahit le versant occidental de l'Oural et, à ce moment, le « bouclier canadien » se trouve enserré entre les deux branches d'une dépression marine (1), dont l'emplacement devait coïncider à peu près avec celui de la mer permienne.

Le Jurassique moyen et le Callovien sont très développés dans la région des Montagnes Rocheuses (Montana, Idaho, Wyoming, Utah, Colorado) et dans son avant-pays (Black-Hills et Red Buttes), nous ne connaissons pas leurs limites vers l'est, mais il semble bien que la branche orientale de la ceinture du « bouclier canadien » n'a pas été envahie par les eaux. La communication avec l'Est et le Nord de l'Europe devait se faire par les régions boréales. Les affinités que présentent les Céphalopodes et les Lamellibranches des deux régions indiquent bien que les faunes appartiennent à une même province zoologique.

Le Crétacé supérieur du Dakota et des Montagnes Rocheuses possède également de grandes analogies avec celui de l'Allemagne du Nord; mais, à partir de cette époque, le versant occidental de l'Oural n'est plus occupé par la mer, qui envahit par contre le sud de la chaîne, comme elle recouvre le sud des Appalaches. Désormais les homologues entre l'Oural et les Appalaches sont d'un autre ordre, ainsi que l'a très justement fait remarquer M. Marcel Bertrand : dans les deux cas, la mer baigne le versant oriental et non plus le versant occidental.

La dépression de l'Allemagne du Nord et son prolongement dans la Russie méridionale, d'une part, la région des Montagnes Rocheuses, de l'autre, continuent cependant à jouer le rôle de géosynclinaux pendant une partie de l'époque tertiaire, comme l'attestent les dépôts vaseux de l'Oligocène, dans le premier cas, les formidables accumulations de dépôts éocènes continentaux, dans le deuxième (Puerco, Wasatch, etc.). L'une et l'autre régions deviennent ensuite le siège de mouvements orogéniques assez importants, mais dont l'intensité ne peut être comparée à celle des actions qui ont déterminé le dernier plissement de la région alpine. Dans le cas de l'Allemagne du Nord, tout au moins, il s'agit évidemment de mou-

(1) Voir : A. KARPINSKY. Sur les mouvements de l'écorce terrestre en Russie. *Annales de Géogr.*, 3^e ann., p. 179-192, fig. 17.

vements posthumes, consécutifs des plissements *hercyniens* (1) de la fin du Paléozoïque.

Le résultat de ces phénomènes orogéniques a été de refouler vers le nord la dépression qui borde le massif finno-scandinave. Actuellement cette dépression suit le Skagerak, le Kattegat, la Baltique, le golfe de Finlande, les lacs Ladoga et Onega, la mer Blanche. On pressent déjà le rôle qu'elle a joué pendant la période pléistocène, mais c'est à des recherches ultérieures qu'il appartiendra de montrer si réellement les mouvements d'élévation du massif finno-scandinave correspondent à des mouvements d'affaissement de la dépression périphérique, et vice versa.

En Amérique on constate des faits tout à fait analogues sur le bord même du « bouclier canadien ». De même qu'en Europe la mer postglaciaire à *Yoldia* baigne le sud et l'est du massif finno-scandinave, de même en Amérique, la mer qui dépose la « Champlain formation » envahit, de l'ouest vers l'est, la dépression bordière (2), occupant les vallées du Saint-Laurent et de l'Ottawa, l'emplacement actuel des lacs Champlain, Ontario, Nipissing et Huron, tandis que dans l'Ouest la dépression est en partie inondée par les eaux du lac Agassiz (3). Aujourd'hui encore la même dépression est jalonnée dans toute sa longueur par des lacs ou des cours d'eau.

Naturellement on ne peut pas affirmer, dans l'état actuel de nos connaissances, que les dépressions qui entourent le « bouclier canadien » et le « bouclier scandinave » sur la moitié de leur périphérie fassent réellement le tour complet des deux massifs, cependant toutes les probabilités sont en faveur de cette manière de voir. Déjà, en ce qui concerne le massif finno-scandinave, il paraît dès à présent probable que la continuation des plis du Timan et de la presqu'île de Kanin se retrouve dans la région du cap Nord. D'autre part, il semble bien que le détroit de Davis ait séparé dès les temps primaires le « bouclier canadien » du Groenland (4). Il n'y aurait donc d'incertitude que pour l'extrême Nord.

Si les aires de surélévation sont entourées par des *dépressions*

(1) Ici le terme de « plissements *hercyniens* » convient parfaitement, car ces plissements, qui forment un angle de 120° environ avec les plissements varisques, sont parallèles au grand axe du Harz.

(2) V. surtout la synthèse publiée par M. DE GEER : On pleistocene changes of level in eastern North America. *Proc. Bost. Soc. Nat. Hist.*, t. XXV, p. 454-477, pl. XIII, 1892.

(3) Warren UPHAM. The Glacial Lake Agassiz. *Monogr. of the U. S. Geol. Surv.*, vol. XXV, 1895.

(4) Fr. FNECH. *Lethæa Palæozoica*, t. II, carte V.

périphériques, on peut se demander si inversement les aires d'ennoyage ne sont pas entourées par des *bourrelets* périphériques. Je suis heureux de trouver dans une note récente de M. Munier-Chalmas (1) une réponse affirmative à cette question. Dans le bassin de Paris, qui est le type d'une aire d'ennoyage, il existerait, en effet, une ride périphérique, qui pendant tout l'Eocène aurait fait obstacle à l'extension de la mer vers le sud et le sud-est.

Il y a évidemment une relation de cause à effet entre les plissements qui naissent dans les dépressions périphériques des grandes aires de surélévation et les oscillations verticales de ces massifs, mais la discussion de ces relations ne pourra être abordée avec fruit que dans le paragraphe final du présent mémoire.

LES EFFONDREMENTS. — Les effondrements qui affectent la lithosphère ont fait l'objet, de la part de M. Suess, de si magistrales études que je pourrai être bref dans l'exposé que je vais faire des dernières phases du morcellement des continents.

Dans la succession des phénomènes orogéniques, les périodes de plissement sont en général suivies de périodes de tassement, marquées par la production de failles ou fractures, le long desquelles s'effondrent des compartiments ou blocs de l'écorce terrestre. Les phénomènes volcaniques, dont je n'ai pas à parler ici, peuvent accompagner la formation des fractures, mais ne les accompagnent pas nécessairement.

Les fractures ne se produisent pas en des points quelconques des régions plissées, certaines parties sont privilégiées et sont comme prédestinées à être le siège des effondrements.

Les aires de surélévation ont une tendance à rester en saillie, alors les régions environnantes s'affaîsseront. Il se forme des failles sur une partie ou sur la totalité de leur pourtour et les régions environnantes s'affaîssent. Ainsi naissent les *horsts* proprement dits, dont le Massif Central de la France est certainement un des meilleurs exemples. Dans certains cas particuliers, comme dans le Thüringer Wald, les failles sont à peu près toutes parallèles à la direction des plissements. Il est rare que la mer envahisse toute la région qui entoure le horst et que ce soient les fractures de la périphérie qui déterminent partout les lignes de rivage.

M. Suess et M. Marcel Bertrand ont montré combien les cas sont fréquents, dans les chaînes de montagnes, où les plis décrivent de grands arcs de cercle qui se raccordent suivant des angles assez

(1) MUNIER-CHALMAS. Sur les plissements du bassin de Paris. *C. R. Acad. Sc.*, 26 mars 1900.

aigus (« Schaarung »), de sorte que la courbe décrite par les lignes de plissements présente des points de « rebroussement ». Ces rebroussements constituent souvent des points faibles, suivant lesquels il se produira des fractures, fréquemment jalonnées par des volcans. Je citerai encore l'exemple de notre Massif Central, où de grandes failles transversales très anciennes, accompagnées, dans leur voisinage, de venues éruptives, correspondent à peu près aux lignes suivant lesquelles s'opère le raccordement des plissements armoricains et des plissements varisques. Au Japon, la « Grande Fosse » correspond également à une arête de rebroussement des plis principaux de la région. L'axe volcanique de Cameroun joue peut-être un rôle analogue.

Dans le cas du Massif Central, les fossés limités par des fractures parallèles sont envahis par des eaux de lagunes. Des fossés tout à fait analogues, limités eux aussi par des failles parallèles et envahis par la mer ou par des lacs, prennent cependant naissance dans des régions où ils ne sont pas en relation avec l'existence de rebroussements et où leurs contours paraissent même entièrement indépendants de l'allure des plissements préexistants. Ainsi, les grandes failles qui limitent la vallée du Rhin n'affectent pas seulement l'aire de surélévation des Vosges et de la Forêt-Noire, dont elles coupent obliquement les plis, mais elles pénètrent également très loin vers le nord, dans les chaînes de l'Allemagne centrale, ainsi que vers le sud, dans les chaînons septentrionaux du Jura. Autant qu'on peut en juger actuellement, les grandes fractures méridiennes de l'Afrique orientale, qui se continuent vers le nord par le fossé érythéen et par le fossé syrien, sont, elles aussi, entièrement indépendantes de toute ligne de plissement. La même direction se retrouve dans les grandes fractures, suivant lesquelles, selon toute vraisemblance, sont orientés les volcans qui forment le substratum des Laquedives et des Maldives (1).

La raison pour laquelle tous ces grands accidents sont orientés nord-sud nous échappe encore entièrement.

Une autre catégorie d'effondrements est, par contre, de nouveau en corrélation évidente avec le phénomène de plissement. Il s'agit de l'effondrement, qui a lieu suivant des « fractures périphériques », de noyaux anciens, entourés par des chaînes plissées plus récentes, en général parallèles aux plis récents.

(1) Beiträge zur Kenntniss des östlichen Afrika, IV, Ed. Suess, die Brüche des östlichen Afrika (p. 139). *Denkschr. d. math.-naturw. Cl. d. k. Akad. d. Wissensch.*, t. LVIII. 1891.

Le morcellement est progressif, les derniers fragments du noyau ancien restent encore quelque temps en saillie, puis ils suivent à leur tour les parties effondrées dans leur mouvement de descente. Les fractures périphériques gagnent de proche en proche les plissements récents eux-mêmes, qui finalement sont affectés également par l'effondrement.

En même temps, de profondes dépressions naissent sur l'emplacement des anciens noyaux et la mer s'y engouffre.

Je ne fais que rappeler les exemples classiques que fournissent la région méditerranéenne et les Antilles.

J'appellerai *irruption*, par opposition aux transgressions et aux ingressions, une invasion marine consécutive d'un effondrement, que celui-ci soit dû à des fractures transversales par rapport à la direction des plissements ou que les fractures soient parallèles à cette direction.

Le morcellement des continents entraîne tantôt une ingression tantôt une irruption de la mer sur des surfaces antérieurement exondées.

SUCCESSION DES PHÉNOMÈNES DE MORCELLEMENT DANS LES CINQ MASSES CONTINENTALES. — Un aperçu rapide permettra de se rendre compte de la succession des phénomènes de morcellement dans chacune des cinq masses continentales primitives.

Le *continent sino-sibérien* est une masse essentiellement stable et n'a subi de morcellement d'aucune sorte.

Toute autre est l'histoire du *continent nordatlantique* qui, à une époque qu'il est difficile de fixer d'une manière précise, fut divisé en un certain nombre d'aires de surélévation, séparées par des aires d'ennoyage. Dans l'Europe centrale et occidentale plusieurs « massifs centraux » acquièrent ainsi leur individualité. Dans une zone plus septentrionale, nous avons distingué, avec M. Suess, le « bouclier canadien » et le « bouclier baltique », auxquels il convient d'ajouter le Grœnland et le massif britannique (Ecosse, Irlande, Pays de Galles), qui constituent des unités analogues. Leur individualité date peut-être d'une époque très reculée, mais j'ai indiqué les raisons pour lesquelles nous devons admettre des communications au moins temporaires entre l'Europe et l'Amérique du Nord. L'existence d'un océan profond, au Secondaire et au début du Tertiaire, entre les deux continents actuels, n'est guère conciliable avec les données de la zoogéographie, tant marine que continentale. Ce n'est probablement que vers la fin de l'époque tertiaire que les aires de surélévation furent définitivement séparées l'une de l'autre par des

dépansions marines. Désormais leurs oscillations furent indépendantes, quoique probablement simultanées, de même sens et déterminées par les mêmes causes.

C'est à ces oscillations que semblent dues les alternances de phases glaciaires et interglaciaires qui affectèrent en même temps chacune des aires de surélévation. Les périodes de soulèvement, correspondant à un abaissement de la limite des neiges persistantes, auraient entraîné la formation de grands glaciers, dont la fusion se serait produite lors des périodes d'affaissement. Chaque aire de surélévation aurait constitué un centre indépendant de glaciation.

D'autres morceaux du continent nordatlantique, comme le Spitzberg et la Terre François-Joseph, ont peut-être subi des oscillations verticales moins régulières et le régime des failles et des effondrements a dû y jouer un rôle prépondérant, ce qui ne veut pas dire, d'ailleurs, que les oscillations des aires de surélévation n'aient pas été accompagnées de la formation de fractures et de venues volcaniques. Il suffira de rappeler les éruptions tant anciennes que récentes de l'Ecosse et l'effondrement du bassin silurien de Kristiania.

On a souvent attribué à l'Atlantique Nord une origine analogue, mais je crois que c'est à tort et que l'on a tout au moins exagéré le rôle des effondrements dans la séparation de l'Amérique du Nord et de l'Europe. Mais cette question doit être discutée en même temps que celle de l'origine de l'Atlantique Sud.

Les phénomènes qui ont conduit au morcellement du *continent africano-brésilien*, à la séparation de l'Amérique du Sud et de l'Afrique, ont dû être beaucoup moins complexes que ceux dont je viens de parler. Ici, nulle trace de ces aires de surélévation bien individualisées ; tout au plus peut-on admettre que la Guyane et le Brésil ont constitué depuis longtemps deux massifs indépendants, séparés par la dépression des Amazones. Ce n'est que dans l'Afrique orientale que l'on connaît de grandes fractures méridiennes, suivies d'effondrements. Leur âge ne peut être déterminé, elles semblent bien n'avoir aucun rapport avec la formation de l'Atlantique Sud, dont les rivages ne sont qu'exceptionnellement marqués par des failles et ne sont pas jalonnés par des centres d'éruptions volcaniques. Les particularités des rivages atlantiques ont été mises en relief par M. Suess, mais l'une d'elles me paraît primer toutes les autres, c'est le parallélisme que présentent les côtes occidentales et orientales non seulement entre elles, mais encore avec la crête médiane de l'océan (1), véritable arête de symétrie, qui se poursuit

(1) A. SUPAN, Die Bodenformen des Weltmeeres. *Peterm. Mitt.*, t. XLV, 1899, p. 177-188, pl. XII.

depuis les îles Fär-Öer, au nord, jusqu'à Tristan da Cunha et Diego Alvarez, au sud, en passant par les Açores et l'île Ascension. Je ne puis m'expliquer ce remarquable parallélisme autrement que par la formation graduelle d'un immense géosynclinal, dans l'axe duquel un géanticlinal secondaire, ébauche possible d'une future chaîne de montagnes, serait en voie de formation. Ce géosynclinal serait transversal par rapport aux plissements du continent nord-atlantique et peut-être aussi par rapport à ceux du continent africano-brésilien. Sa formation serait de date relativement récente.

Les fractures, en partie jalonnées par des volcans, ne seraient que des accidents accessoires dans le mouvement de descente du géosynclinal. La plus remarquable d'entre elles est sans conteste la ligne transversale de Cameroun et des îles du golfe de Guinée, qui se continue peut-être jusqu'à Ste-Hélène.

Le morcellement du *continent australo-indo-malgache* est de date assez ancienne et M. Suess a montré que la formation de l'océan Indien remontait à une époque plus reculée que celle de l'océan Atlantique. Avant l'effondrement il est possible que des aires de surélévation se soient individualisées, ainsi l'île de Ceylan était certainement séparée de la Péninsule Indoue, dès le Crétacé, par un détroit dont l'emplacement correspondait sensiblement au détroit de Palk actuel. C'est vraisemblablement suivant des lignes de fractures méridiennes que se sont produits les effondrements, comme l'attestent la ligne des Laquedives, des Maldives et des Chagos, la côte orientale de Madagascar, la côte occidentale de l'Australie. La ligne volcanique des Mascareignes ne nous apprend rien de particulier sur le morcellement du continent indo-malgache, mais elle ne peut en aucun cas être considérée comme le prolongement de la ligne de fractures de l'Afrique orientale.

Nous ne savons que fort peu de choses sur le morcellement du *continent pacifique*, morcellement qui est aujourd'hui achevé, puisque le continent tout entier est abîmé sous les flots et se trouve remplacé par une profonde dépression océanique. Les fosses les plus profondes se trouvent sur la périphérie, sur le bord même de la chaîne de plissements circumpacifiques et leurs axes sont parallèles à la direction des plis. Plusieurs importantes traînées d'îles volcaniques ou coralliennes permettent de reconstituer par la pensée les lignes de fractures, suivant lesquelles ont eu lieu les effondrements. Dans la partie centrale de l'océan prédominent les alignements N.O.-S.E. Les îles Sandwich constituent un premier alignement, puis viennent celui des îles Fanning et des

Marquises, celui des îles Basses, des Maniki et des îles Phœnix, celui des îles de la Société et des Tokelau, enfin, l'alignement des îles Rapa, Tubuaï, de Cook et des Samoa. D'autres alignements sont parallèles aux plissements périphériques : celui des îles Juan Fernandez, parallèle aux Andes, celui des îles Chatham et des Antipodes, parallèle aux plissements de la Nouvelle-Zélande. Ce sont des fractures périphériques, et des accidents de même nature se retrouvent jusque dans l'intérieur des chaînes périphériques, transformées ainsi en un immense anneau volcanique, le fameux « cercle de feu ». Enfin, certains alignements sont normaux à la périphérie, tels sont l'arête de Bonin (Supan), prolongement de la « magna fossa » du Japon, puis les Galapagos, situées sur l'arête de rebroussement des Antilles.

Il est impossible de fixer l'âge relatif et à plus forte raison l'âge absolu de tous ces accidents.

TROISIÈME PARTIE. — Les transgressions et les régressions

LOI GÉNÉRALE. — Il est peu de questions qui aient autant préoccupé les géologues, en particulier dans les vingt dernières années, que celle des causes des oscillations du niveau des mers. L'étude des déplacements actuels ou récents des lignes de rivage, loin de donner la clé des phénomènes de transgression et de régression dans les périodes anciennes, n'a guère fait qu'obscurcir le problème.

Deux doctrines se trouvent encore aujourd'hui en présence : 1° celle qui explique les déplacements des lignes de rivage par des oscillations verticales de la terre ferme ou par des mouvements du sol, quels qu'ils soient ; 2° celle qui a recours, pour expliquer ces déplacements, à des mouvements propres de la nappe océanique.

C'est surtout M. Suess qui s'est élevé, avec beaucoup de force, contre l'hypothèse de mouvements continentaux. « Cette récapitulation, conclut-il, (1) montre que la doctrine des oscillations séculaires des continents n'est pas susceptible d'expliquer les submersions et émergences répétées de la terre ferme. »

Les partisans des mouvements propres de la nappe océanique ont eu recours à un certain nombre d'hypothèses, ayant chacune pour point de départ une loi déterminée qui est censée régir les invasions marines.

Il est facile de montrer que le point de départ de chacune des

(1) La Face de la Terre, t. II, p. 845.

hypothèses proposées n'est pas en harmonie avec les faits observés.

On a cherché à expliquer les variations du niveau de la mer par des variations dans l'intensité de l'attraction qu'exercent, suivant leur masse, les glaces polaires sur la nappe océanique. Cette masse atteint son maximum lors des périodes glaciaires et, si le phénomène de la précession des équinoxes détermine des périodes de froid alternativement dans les deux hémisphères, l'afflux des eaux se produira alternativement vers chacun des deux pôles.

On a voulu faire intervenir des variations dans la vitesse de rotation de la Terre. Ces variations détermineraient un transport de la masse liquide tantôt vers les deux pôles tantôt vers l'équateur.

M. Suess attribue une grande importance aux « phénomènes eustatiques » (1). Les mouvements négatifs du niveau de la mer seraient dus en partie aux « affaissements locaux de la surface terrestre, qui chaque fois ont appelé une partie des eaux marines dans les fosses ainsi constituées, en abaissant du même coup le niveau général des rivages ».

Les mouvements positifs seraient imputables à l'accumulation des sédiments sur le fond des mers, accumulation qui diminuerait localement la profondeur des océans, déterminant une élévation du niveau général. Dans l'un et l'autre cas, les variations dans la hauteur absolue des eaux devraient se faire sentir avec la même intensité sur tous les rivages océaniques.

Suivant que l'une de ces trois hypothèses serait conforme à la réalité, les transgressions marines devraient se produire alternativement sur les deux hémisphères; elles devraient être localisées tantôt dans les régions équatoriales, tantôt dans les régions polaires; ou enfin, elles devraient être universelles.

Depuis plusieurs années j'ai réuni les documents stratigraphiques relatifs aux transgressions et aux régressions en vue d'établir si l'une ou l'autre de ces trois conditions se trouvent remplies. Je suis arrivé à des résultats absolument négatifs, qui peuvent se résumer ainsi :

1° *Les principales transgressions marines se produisent simultanément dans les deux hémisphères ;*

2° *Elles se produisent simultanément dans les régions polaires et dans les régions équatoriales ;*

3° *Elles ne sont pas universelles.*

Mais j'ai été conduit en outre à des résultats positifs et je crois être à même de formuler la loi suivante :

(1) Face de la Terre, t. II, p. 863.

Toutes les fois qu'un terme déterminé de la série sédimentaire se présentera en transgression sur les aires continentales, le même terme sera en régression dans les géosynclinaux ;

Et réciproquement,

Toutes les fois qu'un terme se présentera en transgression dans les géosynclinaux, il sera en régression sur les aires continentales.

Ce qui revient à dire que les transgressions sur les aires continentales sont compensées par les régressions dans les géosynclinaux, et vice versa.

Il est manifeste que cette conclusion est inconciliable avec toutes les hypothèses cosmiques ou telluriques qui supposent des mouvements propres de la nappe océanique. En revanche, elle s'accorde très bien avec l'hypothèse d'oscillations de la terre ferme. Ce n'est que dans les dernières pages de ce mémoire que je pourrai étudier la nature même de ces oscillations et en chercher les causes. Je dois tout d'abord fournir les preuves à l'appui de la loi que je viens d'énoncer. Mais auparavant je tiens à montrer que si cette loi est nouvelle dans la forme générale que je lui ai donnée, le résultat principal qu'elle met en évidence avait déjà été entrevu et même formulé par quelques auteurs.

Il y a longtemps qu'Hébert et d'autres géologues avaient fait ressortir le contraste qui existe entre la série sédimentaire du Nord de l'Europe et celle du Midi, contraste qui se traduit par le fait que les lacunes dans l'une des régions sont comblées par un terme qui, existe dans l'autre. M. de Grossouvre a, plus récemment, généralisé cette constatation, en formulant la règle suivante : (1) « On vérifie qu'à une phase positive dans une région correspond une négative dans une autre, et l'on peut même établir qu'il existe, à ce point de vue, un contraste constant entre certaines aires de la surface du globe ». Dans sa note, malheureusement trop concise, il se contente de résumer, parmi les résultats auxquels il est arrivé, ceux qui ont trait à l'ère secondaire en Europe. Il met en évidence, par quelques exemples, le contraste entre le Nord de l'Europe, d'une part, et la région des Alpes, des Pyrénées, des Carpathes, de la Crimée, de l'autre. Il conclut de la manière suivante : « Cette analyse fait ressortir l'existence de nombreux mouvements orogéniques dans la région alpine pendant toute la durée de l'ère secondaire : à chacun d'eux correspond une transgression. C'est une loi générale qui peut être étendue à d'autres périodes. »

(1) A. DE GROSSOUVRE. Sur les relations entre les transgressions marines et les mouvements du sol. *C. R. Acad. Sc.*, 5 févr. 1894.

M. de Grossouvre ne parle encore ni de géosynclinaux ni d'aires continentales.

M. Frech, dans son ouvrage déjà classique sur les terrains paléozoïques, a fait ressortir, à maintes reprises (1), des faits analogues : contraste entre les mouvements négatifs de la mer cambrienne dans les régions atlantiques et les mouvements positifs du Cambrien moyen dans l'Europe méridionale ; opposition entre la grande transgression du Silurien supérieur dans les régions arctiques et le mouvement négatif que l'on constate dans certaines parties des Montagnes Rocheuses ; exclusion réciproque du Silurien supérieur et du Dévonien inférieur ; compensation de la transgression du Dévonien moyen par un retrait des eaux dans les lagunes du Vieux Grès Rouge de l'Europe septentrionale, etc.

Après avoir, l'année d'auparavant (2), effleuré la question dans un essai de synthèse de nos connaissances géologiques de la Tunisie, j'ai consacré, en 1898, quelques pages d'une note sur le Portlandien à montrer le contraste qui existe entre la transgression de cet étage dans les régions qui ont été affectées par les plissements alpins et sa régression sur les masses continentales (3). J'ajoutais que la compensation entre les deux phénomènes me paraissait affecter un caractère universel. Je concluais en exprimant l'opinion que des compensations de même ordre existent pour d'autres formations géologiques, mais je renvoyais, pour la discussion de cette question, à une note ultérieure. C'est ce travail que je publie aujourd'hui.

A l'appui de la loi que j'ai formulée plus haut, je donnerai d'abord deux exemples, empruntés aux terrains crétacés, qui me paraissent particulièrement aptes à illustrer la compensation des phénomènes de transgression et de régression. Je continuerai ensuite mon étude du déplacement du niveau des mers en suivant l'ordre chronologique des terrains.

EXEMPLES FOURNIS PAR LES TERRAINS CRÉTACÉS. — L'exemple classique entre tous d'une grande transgression est la transgression cénomaniennne. Elle envahit les aires continentales, mais elle ne se fait pas sentir dans les géosynclinaux, où l'on constate au contraire des indices manifestes de régression. M. Suess a, le premier,

(1) *Lethæa Palæozoica*, t. II, p. 56, 110, 234, 256. — V. aussi : E. HAUG, Revue annuelle de Géologie in *Revue génér. des Sciences*, 1898, p. 499.

(2) E. HAUG, Sur quelques points théoriques relatifs à la géologie de la Tunisie. *Assoc. fr. Avanc. Scienc., congrès de Saint-Etienne*, 1897, p. 370.

(3) E. HAUG, Portlandien, Tithonique et Volgien. *B. S. G. F.*, 3^e sér., t. XXVI, p. 197-228, 1898.

reconnu l'importance de cette transgression et il a fait, à deux reprises (1), un exposé magistral des connaissances que nous en avons. Pour les détails, je puis renvoyer le lecteur à cet exposé et je n'insisterai que sur quelques points qui offrent de l'intérêt pour la thèse que je soutiens.

La transgression cénomaniennne n'est qu'une phase dans une longue série de mouvements positifs de la mer, série qui débute au Néocomien, se continue — avec une légère oscillation dans le sens négatif au Barrémien — à l'Aptien et à l'Albien. Au Cénomanienn, la mer atteint son maximum d'étendue horizontale, mais sa profondeur reste encore faible, comme l'attestent les dépôts exclusivement néritiques et très souvent gréseux qui recouvrent les régions nouvellement conquises par la mer. En revanche, au Turonien, la transgression cesse d'envahir de nouvelles surfaces, mais les eaux gagnent en profondeur, de sorte que, dans un certain nombre de régions où le Cénomanienn est encore néritique, le Turonien inférieur affecte un caractère bathyal. Au Sénouien inférieur (Emscherien), par contre, dans les mêmes régions, le retrait de la mer est manifeste. On peut donc dire que le mouvement positif de la mer, qui commençait à se dessiner au Crétacé inférieur, atteint son maximum non pas au Cénomanienn, mais au Turonien inférieur.

La transgression mésocrétacée envahit une grande partie du continent nord-atlantique. Elle s'étend dès le début sur une grande partie de la dépression périphérique (voir plus haut) qui borde à l'ouest et au sud le bouclier canadien. Au Cénomanienn, la mer envahit le massif ancien lui-même, sans que l'on puisse dire où se trouvaient les limites de cette invasion. Le Grønland, le Spitzberg, la Terre François-Joseph, le massif Finno-Scandinave restent exondés, mais la transgression atteint la Plateforme Russe, la Bohême, le pourtour du Massif Central de la France et du massif Armoricaenn, l'Ardenne, l'Ouest des Iles Britanniques, puis également la Meseta Ibérique et certains noyaux anciens, entourés par les plissements alpins. C'est principalement l'Europe armoricanno-varisque qui est atteinte.

Le Nord de l'Afrique, la Syrie, l'Arabie, sont recouverts sur de grandes surfaces ; certains grès rouges horizontaux de l'intérieur du continent africanno-brésilien doivent probablement aussi être attribués au Cénomanienn. Pour la première fois depuis la fin des temps primaires, la mer baigne de nouveau les rivages actuels de l'Atlantique sud, aussi bien sur la côte africaine, de Cameroun à la province d'Angola — où ont été signalés des dépôts crétacés moyens

(1) *Eutsteh. d. Alpen*, chap. VI ; *Antlitz*, t. II, ch. VI. § 6.

fossilifères et transgressifs sur les terrains anciens, — que sur la côte du Brésil, où des dépôts de même âge s'étendent dans la province de Sergipe. M. Kossmat (1) pense que la séparation de l'Amérique du Sud et de l'Afrique était complète et admet l'existence d'une province atlantique à l'époque du Crétacé supérieur. Rien n'indique d'ailleurs que cette séparation ait été définitive, ni surtout que la mer ait eu, à ce moment déjà, une profondeur considérable.

La transgression cénomaniennne affecte tout particulièrement le *continent australo-indo-malgache*. Plusieurs points de la péninsule Indoue sont envahis par des eaux certainement fort peu profondes (2). Madagascar est atteinte par la même invasion marine et les découvertes récentes (3) ont mis en pleine lumière les grandes affinités qui relient les faunes crétacées de la Grande Ile à celles de l'Inde. La présence des dépôts sénoniens sur la côte orientale indique peut-être que la connexion ancienne avec l'Australie a cessé d'exister au Crétacé supérieur, mais je tiens à répéter que ce fait n'implique nullement la disparition, dès cette époque, du continent indo-malgache, car les limites d'une masse continentale sont tout à fait indépendantes des limites de la mer, qui, lors des transgressions, peut recouvrir en grande partie cette masse continentale, sans qu'elle cesse d'exister comme unité géographique.

L'Australie a été atteinte elle aussi par la transgression mésocrétacée, qui ici paraît débiter par l'Aptien et atteint son maximum au Cénomanienn, dont les grès recouvrent de très vastes surfaces.

Le *continent sino-sibérien* reste, par contre, presque entièrement exondé. Seule l'île de Bornéo possède des dépôts crétacés moyens.

Quant au *continent pacifique*, sa nature entièrement hypothétique nous oblige à le laisser en dehors de la discussion.

En même temps que les aires continentales sont envahies par la mer, les régions qui subiront des plissements à l'époque tertiaire, c'est-à-dire les géosynclinaux, deviennent le théâtre de mouvements

(1) Franz KOSSMAT. Die Bedeutung der südindischen Kreideformation für die Beurtheilung der geographischen Verhältnisse während der späteren Kreidezeit. *Jahrb. k. k. geol. Reichsanst.*, 1894, p. 459-478.

(2) La présence, dans les grès crétacés des régions de Pondichéry et de Trichinopoli, des genres *Phylloceras* et *Lytoceras* de la zone bathyale s'explique très bien par un flottage des coquilles vides, qui devait être particulièrement intense dans le détroit séparant Ceylan de la Péninsule (v. plus haut).

(3) Marcellin BOULE. Note sur les fossiles rapportés de Madagascar par M. E. Gautier. *Bull. Mus. Hist. Nat.*, 1895, n° 5. — Id., Note sur de nouveaux fossiles secondaires de Madagascar *Ibid.* 1899, n° 3. — A. DE GROSSOUVRE. Sur quelques fossiles crétacés de Madagascar. *B. S. G. F.*, 3^e sér., t. XXVII, p. 378, 1899. — Emile HAUG. Sur le Cénomanienn de Diego-Suarez (Madagascar), *Ibid.*, p. 396.

orogéniques plus ou moins intenses, qui ont pour effet de déterminer des exondations locales, de sorte que les terrains crétacés moyens pourront faire défaut sur des surfaces souvent assez étendues, tandis que dans des régions immédiatement adjacentes, qui auront conservé le caractère géosynclinal, la succession des dépôts crétacés pourra être continue du haut en bas de la série. C'est le Turonien qui, marquant le maximum de transgression sur les aires continentales, manquera le plus souvent dans les régions plissées. Le Cénomaniens pourra aussi faire défaut, soit localement, soit dans la chaîne entière, plus rarement l'Albien.

Des mouvements orogéniques antésénoniens très importants ont été depuis longtemps signalés dans les Alpes orientales, aussi l'Albien, le Cénomaniens, le Turonien inférieur sont-ils presque entièrement inconnus dans cette chaîne. Dans les Alpes occidentales, Charles Lory, M. Pierre Lory et d'autres auteurs ont constaté des faits analogues. Dans les Hautes Chaînes calcaires de la Savoie, le Sénonien repose presque toujours directement sur l'Albien. Dans les Carpathes, dans l'Apennin, en Andalousie, le Turonien manque d'une manière à peu près constante. En Algérie, en Tunisie, l'absence du Turonien a été souvent constatée, le Sénonien reposant indistinctement, dans certaines régions de l'Atlas, sur le Cénomaniens, sur le Néocomien ou sur des couches encore plus anciennes. Dans le Caucase (1), le Cénomaniens et le Turonien, ou tout au moins le Turonien inférieur, sont fort mal développés sur les deux versants de la chaîne ; ils font certainement défaut en beaucoup d'endroits.

Les dépôts crétacés des chaînes iraniennes, de l'Himalaya, de l'Arc malais sont encore trop mal connus pour que l'on puisse affirmer l'absence locale des termes moyens. J'en dirai autant de ceux de la bordure occidentale du Pacifique. En revanche, dans la Cordillère des Andes, nous rencontrons de nouveau, en plusieurs endroits, la même lacune que dans la région alpine.

Les couches de Chico, par lesquelles se termine la puissante série secondaire de la Californie, correspondent au Sénonien. Elles reposent en concordance, mais en transgression sur les couches de Horsetown, qui renferment des faunes cénomaniennes et albiennes. Quoique MM. Diller et Stanton (2) insistent sur la continuité que présenteraient les deux formations, je suis assez disposé à admettre

(1) V. ANTHULA. Ueber die Kreidefossilien des Kaukasus. *Beitr. z. Paläont. u. Geol. Österr.- Ung.*, t. XII, p. 136, 143.

(2) J. S. DILLER a. T. W. STANTON. The Shasta-Chico Series. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. V, p. 435-464, 1894.

qu'elles sont séparées par une lacune qui correspondrait précisément au Turonien (1).

Dans la Colombie, dans le Vénézuéla, au Pérou, M. Gerhardt (2) signale expressément l'absence du Cénomaniens et du Turonien, alors que l'Albien et le Sénonien existent dans ces régions. Cette circonstance n'est certainement pas fortuite et vient à l'appui de la thèse que je soutiens.

Au Sénonien nous constatons des circonstances tout à fait inverses. Cet étage est transgressif dans les géosynclinaux et repose souvent, sur leurs bords, sur des terrains beaucoup plus anciens.

Sur les aires continentales, il est, par contre, en régression bien évidente. Souvent la série transgressive commence par l'Emscherien, d'autres fois c'est par le Turonien supérieur, dans quelques cas c'est l'Aturien inférieur ou Campanien qui repose indistinctement sur des terrains quelconques, mais cette transgressivité du terme supérieur du Sénonien atteint également les aires de surélévation des chaînes anciennes.

Dans les Alpes occidentales on a signalé, en de nombreux points, la superposition immédiate du Sénonien à des termes quelconques du Crétacé, voire même au Jurassique supérieur. Dans les Préalpes Romandes c'est par le Turonien supérieur (« couches rouges ») que débute la série transgressive ; dans le Dauphiné (3), c'est tantôt par l'Emscherien, tantôt par le Campanien. Au col de l'Argentière, sur la frontière franco-italienne, des calcaires à *Hippurites Moulinsi* reposent directement sur le Néocomien. Dans les Alpes orientales la mer qui dépose les couches de Gosau envahit des régions déjà plissées, mais l'invasion n'a pas lieu partout en même temps, car la série commence tantôt par le Turonien supérieur, tantôt par l'Aturien le plus élevé, à *Pachydiscus neubergicus*. Dans les Alpes méridionales et dans l'Apennin, la Scaglia est également transgressive, et les couches analogues qui constituent le Sénonien dans l'Atlas jouent encore le même rôle. Au Caucase, le Sénonien repose très généralement en discordance et en transgressivité sur des couches très diverses et jusque sur le granite.

(1) Dans l'île de la Reine Charlotte, le Turonien à *Inoceramus labiatus* existerait, d'après M. Whiteaves (*Geol. Surv. of Canada, Mesozoic Fossils*, I, III), et ferait suite au Cénomaniens et au Crétacé inférieur ; mais le Sénonien fait défaut. L'île se trouve peut-être déjà située à l'ouest du géosynclinal des chaînes côtières.

(2) G. STEINMANN. Beiträge zur Geologie und Paläontologie von Südamerika, V, VI, tableau p. 68, *N. Jahrb. Beil.-Bd.* XI, 1897.

(3) V. PAQUIER. Recherches géologiques dans le Diois et les Baronnies orientales. In-8°, Grenoble, 1900, p. 289.

Dans le géosynclinal circumpacifique le Sénonien est connu en de nombreux points, mais son caractère transgressif n'est certain que pour la Californie et pour le Chili. En Californie, les couches de Chico sénoniennes débordent bien au-delà des couches de Horsetown cénomaniennes (1) et reposent, aussi bien dans la Coast Range que dans la Sierra Nevada, en discordance sur des couches métamorphiques énergiquement plissées, en partie jurassiques. Il en est de même de leur équivalent, les couches littorales de Wallala, à *Coralliochama Orcutti*.

Dans la région littorale du Chili, les couches de Quiriquina, dont l'âge sénonien a été démontré par M. Steinmann (2), sont discordantes sur des schistes d'âge indéterminé.

Enfin, j'insisterai encore sur un point où la transgressivité du Sénonien est manifeste et ce point se trouve sur le bord d'un géosynclinal, qui, il est vrai, n'a pas été le siège de mouvements orogéniques tertiaires. Je veux parler du Natal, où le Sénonien est discordant sur les couches de Karoo, les termes inférieurs du Crétacé supérieur faisant entièrement défaut, comme l'a montré avec évidence M. Kossmat (3).

Il résulte de ces faits que la transgression du Sénonien est un phénomène assez constant dans les géosynclinaux de la période secondaire, et qu'elle fait suite partout à une phase de plissement, correspondant au Cénomaniens ou au Turonien. Après la fin de ces mouvements orogéniques, le géosynclinal s'enfonce de nouveau, mais sans doute d'une manière graduelle et inégale, ce qui explique la transgressivité tantôt du Turonien supérieur, tantôt de l'Emscherien, tantôt de l'Aturien. Pendant ce temps, la mer est en régression sur les aires continentales, tout au moins à l'Emscherien. La Plateforme Russe est abandonnée par les eaux, il en est de même de la Meseta Ibérique, de l'Ardenne, de l'Irlande. Le mouvement négatif est également manifeste en Saxe et en Bohême. Sur les côtes de l'Atlantique sud le Sénonien est inconnu.

Cette régression incontestable est d'autant plus remarquable que, dans un certain nombre de points où elle se manifeste, l'Aturien est de nouveau transgressif et repose soit sur le Cénomaniens, soit sur des terrains plus anciens. C'est ce que l'on observe en

(1) DILLER et STANTON. *Loc. cit.*

(2) STEINMANN. *Beiträge zur Geologie und Paläontologie von Südamerika*, III, 1895.

(3) *Loc. cit.*, p. 464.

Irlande (1), dans le Cotentin, dans les environs de Mons et d'Aix-la-Chapelle, dans le Sud-Est de la Russie, sur le versant oriental de l'Oural, sur le bord atlantique des États-Unis. L'étage aturien, sous son faciès de craie à Bélemnites ou de calcaire à Baculites, est certainement une des formations géologiques qui possèdent la plus grande extension horizontale, puisqu'on le rencontre jusque sur la côte occidentale du Grønland (2), par 70° de latitude nord, sous la forme de dépôts marins intercalés au milieu de couches à végétaux terrestres, et puisque sa transgressivité a été constatée aussi bien sur des aires de surélévation des anciennes chaînes que sur le bord des géosynclinaux. Cependant la transgression aturienne ne peut pas être considérée comme ayant un caractère universel, elle est moins étendue que la transgression cénomaniennne et ne peut en aucune façon être envisagée comme sa continuation.

En résumé, il résulte du précédent exposé :

1° Que la transgression cénomaniennne, ou plus exactement néocomienne-turonienne, est localisée aux aires continentales ;

2° Qu'elle est compensée par une régression graduelle des mêmes termes dans les géosynclinaux, régression due à des mouvements orogéniques assez généraux ;

3° Que l'Emscherien est transgressif dans les géosynclinaux et régressif sur les aires continentales ;

4° Enfin, que l'Aturien est de nouveau transgressif sur les aires continentales et sur le bord des géosynclinaux.

Cette transgressivité de l'Aturien, et surtout de l'Aturien supérieur, coïncide du reste avec un minimum de profondeur et avec un comblement graduel des géosynclinaux, qui, au Danien, est presque toujours entièrement réalisé.

LES MERS PALÉOZOÏQUES. — J'ai dit plus haut que M. Frech avait reconnu une certaine compensation entre les transgressions qui, à des époques déterminées des temps paléozoïques, envahissent les aires continentales et les régressions qui se font sentir aux mêmes époques dans d'autres régions. La loi des transgressions et des régressions se vérifie parfaitement pour les terrains primaires, comme je vais le démontrer, en me basant d'ailleurs principalement sur les constatations faites dans ces dernières années par M. Frech (3).

(1) W. FRASER HUME. The cretaceous strata of county Antrim. *Quart. Journ. Geol. Soc.*, t. LIII, p. 540-606, 1897.

(2) P. DE LORJOL. Om fossile Saltvandsdyr fra Nord-Grønland. *Meddelser om Grønland*, V, p. 203-213, 1883.

(3) Pour la bibliographie je me contente de renvoyer à *Lethæa Palæozoica*, t. II.

Dès le début du CAMBRIEN, nous observons des mouvements positifs de la mer dans une vaste région, qui, pendant une grande partie de l'ère paléozoïque, jouera le rôle de géosynclinal et qui constituera même un des géosynclinaux les plus importants, puisqu'il deviendra le siège des mouvements orogéniques calédoniens, armoricano-varisques, alpins. Nous connaissons sa limite septentrionale, c'est la chaîne huronienne de M. Marcel Bertrand, comprenant, en Europe, la zone des Hébrides ; quant à sa limite méridionale, il est impossible de la préciser, elle se trouvait dans tous les cas très loin vers le sud, probablement en Afrique. De grandes masses de sédiments s'y étaient déjà accumulées pendant la période algonkienne et à la fin de cette époque il s'y forme plusieurs rides ou géanticlinaux secondaires. La principale de ces rides comprend le nord du massif Armoricaïn, le Pays de Galles, la Suède méridionale, la Finlande et peut-être la presqu'île de Kola ; elle divise la région septentrionale du géosynclinal en deux géosynclinaux secondaires. Dans l'un, celui des Grampians et de la dorsale scandinave, comme dans l'autre, celui de l'Europe centrale, l'Algonkien et le Cambrien sont parfaitement concordants. Sur le bord septentrional, c'est-à-dire dans la zone des Hébrides, le Cambrien s'étend, par contre, en transgressivité et en discordance angulaire sur l'Algonkien. La même discordance s'observe dans toute la région qui sépare les deux géosynclinaux secondaires : le Pays de Galles, le massif Armoricaïn, le Sud de la Suède sont envahis par le Cambrien inférieur transgressif, tandis qu'en Finlande la transgression paraît localisée sur le bord méridional du massif, dans la bande des Provinces Baltiques.

En Bohême, ce n'est qu'au Cambrien moyen que les plissements algonkiens sont recouverts par la série transgressive.

Dans l'Amérique du Nord, on observe, comme dans le Nord de l'Europe, une discordance du Cambrien inférieur sur l'Algonkien dans la région acadienne. Il est très probable, comme le fait remarquer M. Frech, que ce même étage est également transgressif dans la région occidentale de l'Amérique du Nord et peut-être même en Chine.

En revanche, le « bouclier canadien », ainsi que la région centrale des Etats-Unis, qui avaient été en partie sous les eaux à l'époque précambrienne, forment, au Cambrien inférieur et moyen, une terre émergée, le « continent algonkien » de M. Walcott.

Au Cambrien supérieur l'extension des mers est presque inverse de ce qu'elle était au Cambrien inférieur et moyen. Les aires conti-

mentales, qui étaient émergées, sont maintenant envahies par les eaux, tandis que les régions géosynclinales accusent des mouvements négatifs.

La transgression des grès de Potsdam sur le continent algonkien a été décrite d'une manière magistrale par M. Walcott. En Europe, nous ne connaissons au Cambrien aucun mouvement positif comparable. La raison doit en être cherchée dans le fait que, au début des temps primaires, la limite méridionale du continent nordatlantique se trouvait marquée par la zone des Hébrides et que, par conséquent, les restes de cette masse ancienne sont actuellement cachés sous les eaux de l'océan Arctique. Peut-être le système d'Hecla-Hook, dans le Spitzberg, qui repose sur l'Archéen, est-il du même âge que les grès de Potsdam.

A cette transgression du Cambrien supérieur sur une aire continentale correspond une régression du même terme dans les géosynclinaux adjacents. Les équivalents du grès de Postdam manquent dans l'Utah et dans l'Est de la Colombie Britannique ; l'absence du Cambrien supérieur en Bohême est bien connue ; de plus, une régression analogue existerait en Ecosse et, d'après M. Frech, dans l'Europe méridionale. Enfin, j'ajouterai que, dans le Salt Range, on possède également des indices manifestes de mouvements négatifs, qui se traduisent par la formation de lagunes.

Nous connaissons trop peu le Cambrien de l'hémisphère sud pour qu'il soit possible, dès à présent, de lui appliquer les conclusions précédentes.

L'ORDOVICIEN débute en Europe, c'est-à-dire dans une région géosynclinale, par un nouveau mouvement positif de la mer. Le grès armoricain est largement transgressif en Bretagne et dans le Bocage normand et probablement dans une grande partie de l'Espagne. En Irlande, l'Ordovicien repose en discordance sur le Cambrien ; dans la Norvège méridionale et en Bohême sa transgressivité est non moins nette. Dans les Appalaches, un mouvement orogénique peu important est suivi, vers la partie moyenne de l'Ordovicien, d'un retour de la mer. Dans beaucoup de régions, par contre, la continuité du Cambrien et de l'Ordovicien est parfaite.

Le rôle important de la transgression du GOTHLANDIEN dans l'Amérique boréale, c'est-à-dire sur le continent nordatlantique a été mis en évidence par M. Frech, qui a montré également l'existence de mouvements négatifs de même âge dans l'Arkansas et dans le Colorado, c'est-à-dire dans un géosynclinal. La même transgression paraît se manifester aussi sur le continent africano-brésilien, dans le bassin des Amazones.

La limite du Silurien et du DÉVONIEN est marquée dans une partie de l'Europe par des mouvements orogéniques intenses, connus sous le nom de « mouvements calédoniens ». Leur existence est indiquée par la discordance du Dévonien sur le Silurien. Il y a cependant des régions où les deux systèmes sont en concordance et en continuité parfaite : la Mayenne, la Bohême, les Alpes orientales, et, en Amérique, les Appalaches. Il s'agit sans doute de parties axiales des géosynclinaux.

Le Nord de l'Europe est désormais adjoint au continent nordatlantique et les sédiments, presque toujours néritiques ou même lagunaires, qui s'y déposeront resteront horizontaux ou ne subiront plus que de légères ondulations (1). Le Sud de l'Angleterre, le massif ardennais et rhénan, le Harz, la Thuringe, la Pologne sont, par contre, au Dévonien, le théâtre d'une sédimentation très active ; ces régions constituent un géosynclinal en voie d'approfondissement graduel, qui, au Carbonifère, sera le siège de nouveaux mouvements orogéniques. Dans le Sud de l'Europe, il semble que des conditions analogues ont régné. Le géosynclinal dévonien s'étend donc, suivant toute vraisemblance, depuis la Baltique jusqu'au Sahara.

Vers le milieu de la période dévonienne, le mouvement positif de la mer va en s'accroissant et atteint bientôt son maximum. Il en résulte que certains points, encore émergés au Dévonien inférieur, comme le Boulonnais, la Thuringe, le Fichtelgebirge, la Pologne, le Timan, l'Espagne méridionale, sont envahis par les eaux. En même temps, la sédimentation prend, en beaucoup d'endroits, un caractère bathyal (faciès à Goniatites). Dans les Provinces Baltiques et dans la Russie centrale, des dépôts givéliens et frasniens franchement marins s'intercalent au milieu du Vieux Grès Rouge, de sorte que, là aussi, sur le bord même du géosynclinal, le mouvement positif se fait sentir.

Sur le continent nordatlantique nous constatons, par contre, avec M. Frech, un mouvement négatif, synchronique de ce mouvement positif. En Ecosse, dans le centre de l'Angleterre et au Spitzberg, le Vieux Grès Rouge inférieur à *Cephalaspis* est séparé du Vieux Grès Rouge supérieur à *Holoptychius* par une lacune et les deux termes sont quelquefois discordants.

La fin de la période dévonienne est marquée, dans le géosynclinal

(1) Dans le centre de l'Angleterre, en particulier dans le Shropshire, les mouvements orogéniques ont eu lieu un peu plus tôt, immédiatement après l'Ordovicien, de sorte que le Gothlandien inaugure la série non plissée et possède un caractère essentiellement néritique. Il est concordant avec le Dévonien inférieur.

de l'Europe centrale et méridionale, par un mouvement négatif, qui correspond au retour des eaux dans les lagunes de l'Europe septentrionale : le Famennien prend un caractère gréseux dans le bassin de Namur et dans le Boulonnais, le Dévonien supérieur manque entièrement en Bohême et dans la Mayenne.

En dehors de l'Europe, on constate des faits de même ordre, qui confirment la loi des transgressions et des régressions.

La transgression mésodévonienne est, comme l'a montré M. Frech, un phénomène d'une grande généralité. Il est vrai que, dans la plupart des cas, nous ne possédons pas de renseignements sur le substratum, mais comme on n'a rencontré, dans des régions où le Dévonien moyen et le Frasnien sont souvent très bien connus, ni Dévonien inférieur ni Famennien, on est bien en droit d'admettre, dans ces régions, un mouvement positif au milieu de la période. Les points signalés — Asie Mineure, Arménie, Perse, Altaï, Nouvelle-Sibérie, Sibérie Orientale, Tian-Chan, Kuen-Lun, Chine, Japon, bords du Mackenzie, Manitoba, Nevada — paraissent bien être situés dans les géosynclinaux qui entouraient l'ancien continent sibérien et le « bouclier canadien ». On ne peut constater en Asie de régression correspondante, mais, dans l'Est du Canada, le Dévonien inférieur marin, concordant avec le Silurien supérieur, est séparé du Vieux Grès Rouge supérieur par des conglomérats et des grès à *Psilophyton*, indiquant un mouvement négatif, comparable à celui du Dévonien moyen de l'Europe septentrionale.

Dans l'hémisphère sud, on connaît du Dévonien moyen dans les chaînes orientales de l'Australie et en Tasmanie (Cordillère australienne de M. Suess). Il appartient sans doute à un géosynclinal, car il est énergiquement plissé et supporte le Carbonifère presque horizontal (1). Dans le géosynclinal qui limitait à l'ouest et au sud le continent africano-brésilien (Bolivie, Parana, Malouines, Cap), la série dévonienne comprend, par contre, un Dévonien inférieur très particulier (zone à *Spirifer antarcticus* et *Leptocœlia flabel-lites*) et un Dévonien moyen gréseux, tandis que le Dévonien supérieur n'a pas été signalé, ce qui confirmerait, ici aussi, l'existence d'un mouvement négatif à la fin de la période.

Le mouvement positif sur les aires continentales, qui avait commencé à se faire sentir au Dévonien supérieur, s'accroît au début du CARBONIFÈRE, au Dinantien, et atteint son maximum au Moscovien. Dans les géosynclinaux, le mouvement négatif correspondant

(1) E. SUSS. La Face de la Terre, II, p. 248.

se traduit, au Dinantien, par une diminution assez générale de la profondeur des mers et, au Moscovien, par un retrait des eaux dans un grand nombre de régions.

Le Dévonien supérieur et le Carbonifère inférieur sont en concordance parfaite dans les Iles Britanniques, dans une grande partie du massif ardennais et rhénan, dans le Nord de l'Allemagne, dans la Russie centrale et orientale, dans le bassin du Donetz. Rarement le Dinantien est transgressif, mais le faciès des dépôts atteste un approfondissement des eaux au Dinantien supérieur (Viséen), principalement dans le Nord de l'Angleterre. Le minimum de profondeur est atteint dans la Russie centrale au Moscovien. Dans une zone plus méridionale, comprenant une grande partie de la France et correspondant à la région axiale du géosynclinal dévonien, la continuité entre le Dévonien et le Carbonifère n'existe plus, ou ne s'observe que rarement.

Dans la Mayenne, M. D.-P. Oehlert a reconnu l'existence de mouvements orogéniques entre les deux périodes; ailleurs, on constate simplement l'absence du Tournaisien (Boulonnais, Vosges, Massif Central, sauf le Morvan). Plus au sud encore, dans la Montagne Noire, dans les Pyrénées, dans les Asturies et dans les Alpes orientales, la continuité existe de nouveau. Mais, depuis l'Espagne jusqu'en Belgique, depuis la Carinthie jusqu'en Thuringe, la régression du Moscovien est générale et ces régions deviennent le siège de grands mouvements orogéniques intracarbonifères.

La transgression du Dinantien dans la région centrale des Etats-Unis est tout à fait semblable au mouvement positif de la mer qui se fait sentir sur la Plateforme Russe. Au Moscovien, les eaux marines s'étendent en outre sur l'Amérique boréale (couches à *Glyphioceras diadema* dans le détroit de Davis), le Sahara occidental, l'Arabie, le Timan, le Spitzberg et peut-être sur le Brésil. C'est aussi de cette époque que date probablement l'invasion par les eaux du continent à *Glossopteris*.

Au milieu de la période anthracolithique, le sens des mouvements change : les géosynclinaux sont de nouveau le théâtre d'oscillations positives, tandis que les aires continentales sont peu à peu abandonnées par les eaux.

Dans les Alpes Carniques, les couches ouraliennes reposent en discordance sur le Viséen. La transgression ouralienne existe également dans la Salt Range, dans le Tibet et dans le Sud de la Chine (Lóczy), et sans doute aussi à Tenasserim et à Sumatra, ainsi que dans l'Himalaya central.

En revanche, la Grande Bretagne, le massif Ardennais et Rhéna, le centre de l'Allemagne et, plus au sud, le massif Armorica, le Massif Central, les Vosges, la Forêt Noire sont adjoints au continent nordatlantique et ne font désormais plus partie du géosynclinal principal de l'Europe, qui se trouve ainsi considérablement rétréci. Le mouvement négatif de la mer est non moins évident dans les environs de Moscou et dans le centre des États-Unis.

La transgression est encore plus considérable à l'Artinskien. Dans l'Oural septentrional et méridional cet étage repose directement sur le Carbonifère inférieur ou sur le Dévonien, mais la mer perd en profondeur ce qu'elle gagne en étendue, car le caractère des dépôts est généralement gréseux ou dolomitique. L'Artinskien a été rencontré en plusieurs points dans la « Tethys », quelquefois même dans des régions où l'Ouralien n'a jamais été signalé : dans les Pyrénées, en Sicile, dans les Alpes orientales, à Darwas (Boukharie), au col de Karakorum, à Chitichun (1) (Himalaya central).

Avec le PERMIEN proprement-dit, la mer se retire définitivement de la région ouralienne, c'est-à-dire d'une région dans laquelle tout le Dévonien et le Carbonifère sont représentés par une série concordante, déposée vraisemblablement dans un géosynclinal. La bande de dépôts marins se trouve localisée dans la dépression qui entoure le massif finno-scandinave et la Plate forme Russe et dont il a été question plus haut. La transgression, dans le Nord de l'Allemagne, s'opère graduellement. Sur le bord méridional du Harz, la série transgressive débute par les couches inférieures ; dans l'est de la Thuringe c'est le Zechstein qui repose en discordance sur le Carbonifère inférieur ; la partie supérieure de l'étage est lagunaire et indique un mouvement négatif des eaux. Dans les Alpes méridionales, ce sont, au contraire, les couches les plus élevées du Permien, les calcaires à *Bellerophon*, qui correspondent au maximum de profondeur. De même à Djoulfa, dans l'Arménie russe, les couches à *Otoceras* et *Hungarites*, qui me paraissent également représenter le Permien le plus élevé, reposent, d'après MM. Frech et von Arthaber (2), en discordance sur du Carbonifère plissé.

Quoique, dans le cas du Permien, on ne puisse mettre en opposition les géosynclinaux et les aires continentales, il y a, là encore, un contraste assez frappant entre deux zones dont l'histoire géolo-

(1) C. DIENER. Die Äquivalente der Carbon- und Permformation im Himalaya. *Sitzber. k. Akad. Wiss. Math.-naturw. Cl.*, t. CVI, p. 447-465, 1897.

(2) FR. FRECH U. G. VON ARTHABER. Ueber das Palæozoicum in Hocharmenien und Persien. *Beitr. Pal. Österr.-Ung.*, t. XII, p. 171, 1900.

gique est différente, puisque la transgression atteint son maximum dans l'une au moment où dans l'autre la nature des sédiments atteste un mouvement négatif.

Les faits relatifs aux terrains paléozoïques que je viens d'exposer s'expliquent très bien si l'on a recours à l'hypothèse de mouvements du sol ; ils sont incompréhensibles, si l'on cherche à les interpréter en faisant intervenir des mouvements généraux de la nappe liquide. Voyons si les terrains triasiques et jurassiques nous conduisent aux mêmes résultats.

LES MERS SECONDAIRES. — Je ne connais aucune région étendue dans laquelle on ait signalé une discordance angulaire — et par conséquent des mouvements orogéniques — entre le Permien et le TRIAS. Dans le Salt Range il s'agit d'une simple « nonconformité par érosion ». Généralement la transgression a lieu avec des couches plus anciennes, soit à la base ou dans le milieu du Permien proprement dit, soit à la base de l'Artinskien ou de l'Ouralien, et les termes supérieurs de la série anthracolithique sont alors en concordance parfaite avec le Trias inférieur, comme, par exemple, dans les Alpes méridionales, en Arménie, dans la région de Johar et de Painkhanda (Himalaya central) (1). Quand le Permien manque, ou qu'il n'est représenté que par des dépôts lagunaires, le Trias inférieur est transgressif. C'est ce que l'on observe aussi bien dans les Alpes septentrionales que dans l'avant-pays de la chaîne. Pour ce qui concerne l'extension géographique du Trias inférieur, je renvoie à ce que j'ai dit plus haut. J'insiste seulement sur le fait que, dans les régions surélevées ou stables des masses continentales, les équivalents marins du Grès Bigarré sont inconnus. Ainsi, au Spitzberg, le Trias moyen repose immédiatement sur le Permien.

Le groupe moyen du Trias nous fournit un nouvel exemple de la loi des transgressions et des régressions. A des mouvements positifs dans les aires continentales correspondent des mouvements négatifs dans les géosynclinaux.

Le contraste entre les deux catégories de régions est particulièrement frappant pour l'étage supérieur du groupe, pour le Ladinien.

Le mouvement positif se traduit par un approfondissement de la mer dans toute la province germanique ; il s'accuse déjà très nettement lors du dépôt du Wellenkalk (étage virglorien) et atteint son maximum, après une courte phase négative (groupe de l'anhydrite), au moment où *Ceratites nodosus* devient l'espèce la plus caractéris-

(1) D'après les observations de MM. Griesbach et Diener. V. C. DIENER, *loc. cit.* p. 453.

tique. En même temps, la mer s'étend sur quelques massifs, qui, depuis le début de la période, étaient restés émergés. A Sierck, dans la Lorraine annexée, le Muschelkalk inférieur vient à reposer directement sur le Dévonien (1).

Sur les bords du Massif Central, on constate des faits analogues. M. Munier-Chalmas (2) a recueilli aux environs de Valence, dans des grès immédiatement superposés aux micaschistes, la *Myophoria Goldfussi*, caractéristique de la Lettenkohle.

Je suis convaincu, avec M. Munier-Chalmas (3), que beaucoup de grès formant dans le Sud de l'Europe la base du Trias, ont été considérés à tort comme du Trias inférieur et qu'ils appartiennent en réalité, comme sur le bord du Massif Central, au Trias moyen. La transgression virglorienne ou ladinienne serait donc générale en dehors du géosynclinal alpin (4).

Dans les Alpes orientales, par contre, on a signalé, en plusieurs points, l'absence du Ladinien et la transgressivité du Trias supérieur.

Dans la région de Hallstadt, le Carnien, débutant par la zone à *Trachyceras aonoides*, repose immédiatement sur la zone à *Ceratites trinodosus* (Virglorien supérieur). La même lacune, correspondant exactement au Ladinien, a été reconnue par M. Diener (5) dans l'Himalaya central, en particulier dans la belle coupe du Shalshalcliff, qui ne laisse aucun doute sur la succession. Dans plusieurs points des Alpes centrales, en particulier dans l'Engadine (6) et dans la région du Brenner (7), le « Hauptdolomit » carnien et norien est nettement transgressif et repose soit sur le Trias inférieur, soit sur les schistes paléozoïques. A Balia-Maaden, en Mysie (8), le Trias

(1) L. VAN WERVEKE. Erläuterungen zur geologischen Uebersichtskarte des westlichen Deutsch-Lothringen, Strasbourg, 1887.

(2) Feuille de Valence de la Carte géologique de la France, notice explicative, 1899. — V. aussi : DE LAPPARENT. Traité de géologie, 4^e édit., p. 1025.

(3) V. LÉON BERTRAND. *C. R. somm. Soc. Géol.*, 1899, p. 94 et 109.

(4) La présence de fossiles du Muschelkalk dans le Yunnan (Lóczy) et celle de Gastropodes voisins de ceux de Saint-Cassian dans le Kuei-tchou (E. Koken) s'accordent assez bien avec cette manière de voir.

(5) C. DIENER. Ergebnisse einer geologischen Expedition in den Central-Himalaya von Johar, Hundes und Painkhanda. *Denkschr. k. Akad. Wiss. math.-naturw. Cl.*, vol. LXII, 76 p., 8 pl., 1895, p. 49.

(6) Emil BÖSE. Zur Kenntniss der Schichtenfolge im Engadin. *Zeitschr. d. D. geol. Ges.*, 1896, p. 599.

(7) FR. FRECH. Die Tribulaungruppe am Brenner in ihrer Bedeutung für den Gebirgsbau. Richthofen-Festschrift, p. 7 du tirage à part.

(8) GEJZA V. BUKOWSKI. Die geologischen Verhältnisse der Umgebung von Balia Maaden im nordwestlichen Kleinasien (Mysien). *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss., math.-naturw. Cl.*, vol. CI, I, 1892, p. 227.

supérieur, débutant par un conglomérat de base, s'étend transgressivement sur le Carbonifère.

De même, à Taylorville, en Californie, le « Hosselkus limestone » carnien repose directement, d'après M. Hyatt (1), sur des couches carbonifères.

D'autre part, la grande extension des couches à *Pseudomonotis*, dans tout le géosynclinal circumpacifique, jointe à la rareté des localités où, dans les mêmes régions, le Trias inférieur et moyen ont été signalés, permet de supposer, là également, une transgressivité assez générale du Trias supérieur.

Cette transgression dans les géosynclinaux correspond à une régression évidente sur les aires continentales. Sans parler du mouvement négatif attesté par les lagunes du Keuper dans toute la province germanique, je rappellerai que dans la Dobrogea (2), qui n'est pas atteinte par les plissements alpins, le Trias supérieur est représenté en grande partie par des calcaires dolomitiques et par des psammites, et que, dans le Salt Range, le même groupe est constitué par des dolomies. Dans les deux cas, le mouvement négatif est donc manifeste.

Si l'on fait abstraction de l'Europe, on constate que tous les gisements connus du LIAS se rencontrent dans des géosynclinaux : Tethys, détroit de Mozambique et géosynclinal circumpacifique. Aucun n'a encore été signalé sur une aire continentale. Il est donc incontestable que le Lias correspond, pour les continents, à une phase négative et même à un maximum de régression marine.

En Europe, il est plus difficile de définir le caractère de la période liasique, car, si le Lias fait entièrement défaut sur la Plateforme Russe et sur le bouclier scandinave, si, d'autre part, il prend un grand développement dans le géosynclinal alpin, il n'en est pas moins vrai qu'il se rencontre sur tous les massifs anciens de l'ouest du continent.

La série liasique possède le type bathyal, non seulement dans certaines zones de la chaîne des Alpes (zones à faciès dauphinois, zone du Piémont, Alpes septentrionales), mais encore dans la dépression de l'Allemagne du Nord (Hanovre et Brunswick) et dans plusieurs « aires d'ennoyage », telles que le golfe des Causses, la

(1) Voir : E. VON MOJSISOVICS : Beiträge zur Kenntniss der obertriadischen Cephalopoden-Faunen des Himalaya., *Denkschr. d. math.-naturw. Cl. d. K. Akad. d. Wiss.*, t. LXIII, p. 692.

(2) V. ANASTASIU. Contributions à l'étude géologique de la Dobrogea (Roumanie). Thèse, Paris, 1898, p. 54.

Souabe, le bassin anglais et probablement aussi le centre du bassin de Paris. Mais l'invasion marine atteint également les « aires de surélévation », telles que la Meseta Ibérique, le Massif Central, l'Ardenne, le massif Armoricaïn, l'Ecosse et l'Irlande, et, dans ce cas, le type néritique est toujours prédominant, les intercalations bathyales sont rares.

La transgression du Lias sur les aires de surélévation s'est opérée graduellement et avec des oscillations dans le sens négatif. En certains points, la série débute par le Rhétien, ailleurs c'est seulement par l'Hettangien. Le Sinémurien proprement dit (Sinémurien moyen) est, par contre, souvent en régression, par exemple dans la Basse-Provence, dans le Languedoc, en Vendée, en Ecosse. La transgression du Lias, débutant quelquefois avec le Sinémurien supérieur, est bien connue. Au Lias supérieur certains points de l'Europe centrale et occidentale s'approfondissent, de sorte que la sédimentation y devient exclusivement vaseuse et que les *Phylloceras* et les *Lytoceras* peuvent y jouer un rôle prépondérant; d'autres points, par contre, sont abandonnés par la mer. Ainsi, sur le bord sud-est du massif de l'Ardenne (1), on constate une transgressivité graduelle de tous les termes du Lias jusqu'aux couches à *Deroceras Davœi*, puis une régression graduelle des zones supérieures du Lias moyen, qui se continue au Toarcien et au début de l'Aalenien.

Dans la région alpine on retrouve exactement les mêmes mouvements. Le Lias moyen est transgressif au Hierlatz et en d'autres points des Alpes septentrionales, dans certaines parties des Préalpes romandes et dans le massif de la Mure. Le Lias supérieur manque quelquefois. Il est donc évident qu'au Lias les déplacements du niveau des mers ont eu lieu dans le même sens dans la région alpine et dans son « Vorland », et jusque dans le Nord de la Grande Bretagne. Ces faits ne peuvent s'expliquer que par un enfoncement graduel de toute l'Europe occidentale. Dans les autres continents on ne connaît rien d'analogue.

A l'époque aalénienne les mouvements alpins et les mouvements dans le « Vorland » sont encore synchroniques. Ainsi les marnes à *Harpoceras opalinum* sont transgressives dans les Préalpes et dans les Alpes de Glaris et la même transgression, avec remaniement des couches inférieures de l'étage, existe en Normandie (2), peut-être

(1) J. GOSSELET. L'Ardenne. *Mém. Cart. géol. Fr.*, p. 800, fig. 220, 1888.

(2) Livret-guide des excursions en France du VIII^e congrès géologique international. Paris, 1900, IX, p. 46.

aussi dans le Wurtemberg (Boll et Wasseralfingen) (1). Elle s'étend aussi vers l'est, en Pologne et en Galicie, et c'est par elle que débute, dans ces régions, la série jurassique.

Avec le BAJOCIEN, le BATHONIEN et le CALLOVIEN nous nous trouvons en présence d'une importante transgression mésojurassique, qui se fait sentir sur les aires continentales et qui, cette fois-ci, est synchronique d'un mouvement négatif dans les géosynclinaux. C'est rigoureusement le même contraste qu'au Crétacé moyen.

Suivant les régions, c'est avec le Bajocien, le Bathonien ou le Callovien que débute l'invasion marine. La plateforme russe est submergée graduellement, des bords vers le centre, de telle sorte que les gouvernements de Jaroslaw, de Twer et de Moscou ne sont recouverts par les eaux qu'au Callovien moyen (2). La Bohême est envahie sur son bord sud-ouest dès le Bajocien, dans le centre, au Bathonien, sur le bord est, en Moravie, au Callovien supérieur. Le Boulonnais et le Sud-Est de l'Angleterre sont recouverts par la mer au Bathonien. Dans la Dobrogea, la série jurassique commence par le Bajocien, comme aussi dans la presqu'île de Manghychlak (3).

Dans les fragments arctiques du continent nordatlantique la transgression mésojurassique débute soit par le Bajocien, comme au cap Flora, dans la Terre François-Joseph (4), soit par le Bathonien, comme sur la Terre du Roi Charles (5), soit par le Callovien, comme au cap Stewart, sur la côte est du Grønland (6).

Sur le bord sud du continent, dans la dépression périphérique du bouclier canadien, les dépôts jurassiques essentiellement néritiques des Montagnes Rocheuses et des Black Hills du Dakota correspondent à la fois au Bajocien (Pentacrinus-beds), au Bathonien et au Callovien (Belemnites-beds), ainsi qu'il résulte des travaux de Meek et Hayden et de MM. C. A. White et T. W. Stanton (7).

(1) ENGEL. Die Ammonitenbreccie des Lias bei Boll. *Jahresh. d. Ver. f. vaterl. Naturk. in Würtemb.*, 1894, p. LI-LXII.

(2) S. NIKITIN. Ueber die Beziehungen der russischen und der westeuropäischen Juraformation. *Neues Jahrb.*, 1886, II, p. 205-245.

(3) B. SÉMENOV, Faune des dépôts jurassiques de Mangyichlak et de Tour Kyr. *Trav. Soc. Natur. St-Petersb. Géol. Minér.*, t. XXIV, p. 29-140, pl. I-III, 1896.

(4) J. F. ПОМПЕЧКЪ. The jurassic fauna of cap Flora, Franz Josef Land. The Norwegian North-Polar Expedition 1893-96, Scientific Results edited by Fridtjof Nansen, II, 1900.

(5) Id. Marines Mesozoicum von König-Karls-Land. Ofversigt of Kongl. Vetenskaps Akad. Förhandl., 1899, 5, p. 449-464.

(6) B. LUNDGREN. Anmärkningar om några Jurafossil från Kap Stewart i Ost-Grønland, *Meddelser om Grønland*, t. XIX, p. 189-214, 3 pl. 1895.

(7) V. la bibliographie dans T. W. STANTON, Mesozoic fossils of the Yellowstone National Park. *Monogr. U. S. Geol. Surv.*, n° XXXII, p. 602.

Dans l'est du continent africain, dans le Choa (1), le Bajocien repose sur des grès, des marnes gypsifères et des dolomies, qui représentent probablement les couches de Gondwana. Il supporte du Bathonien et des couches plus récentes (Séquanien, Kimeridgien), qui, comme lui, appartiennent au type néritique. Des formations de même âge paraissent exister dans le Somali.

La série bien connue de Cutch, dans l'Indoustan, commence également par le Bathonien (« Putchum beds ») et comprend ensuite tous les étages du Jurassique supérieur jusqu'au Portlandien inférieur.

Dans l'Australie occidentale une masse de grès et de conglomérats horizontaux, avec bancs calcaires interstratifiés, repose sur les schistes cristallins. Elle renferme (2) certainement des fossiles bajociens (*Dorsetensia Clarkei* Crick, *Sphæroceras (?) Woodwardi* Crick) et calloviens (*Perisphinctes Championensis* Crick = *Proplanulites* sp.).

Cette remarquable transgression mésojurassique, qui envahit presque simultanément le continent nordatlantique, le continent africano-brésilien et le continent australo-indo-malgache, a comme contre-partie, comme l'a déjà fait remarquer M. de Grossouvre, un mouvement négatif dans la région alpine. Je rappellerai la superposition directe de l'Oxfordien ou du Tithonique au Lias ou même au Trias dans plusieurs points des Alpes, des Apennins, de l'Atlas et par conséquent la fréquente absence du Bathonien et du Callovien, ou le caractère lagunaire de ces étages (couches à *Mytilus*). En dehors de l'Europe, les documents font malheureusement défaut pour établir l'existence d'une lacune analogue dans la série jurassique des régions plissées.

Avec l'OXFORDIEN nous constatons de nouveau une solidarité frappante entre les mouvements de la région alpine et ceux du « Vorland ». La zone moyenne (3) de l'Oxfordien (zone à *Peltoceras transversarium*) repose fréquemment en transgression sur des termes quelconques de la série jurassique, et très souvent sur le Callovien inférieur, aussi bien dans la région alpine que dans les régions anciennes adjacentes.

(1) K. FUTTERER, Beiträge zur Kenntniss des Jura in Ost-Afrika, IV, Der Jura von Choa (Süd-Abessinien). *Zeitschr. D. geol. Ges.*, t. XLIX, 1897, p. 568-627, pl. XIX-XXII.

(2) G. C. CRICK. On a collection of jurassic Cephalopoda from Western Australia obtained by Harry Page Woodward. *Geol. Mag.*, dec. IV, vol. I, 1894, p. 385-393, 433-441, pl. XII, XIII.

(3) « Moyenne », si l'on admet une zone supérieure à *Perisphinctes Martelli* (couches d'Effigen, « Impressa-Thone »), « supérieure », si l'on réunit cette zone à la précédente.

Dans les Alpes de Glaris et de Saint-Gall, Mœsch (1) a observé en plusieurs points, entre autres au Gonzen, le contact direct, avec ravinement, des couches de Birmensdorf avec les oolithes ferrugineuses bajociennes. Dans les Préalpes romandes la même transgressivité a été signalée. A Chabrières (2), dans les Basses-Alpes, des calcaires grumeleux identiques font suite immédiatement à des calcaires marneux de la zone à *Macrocephalites macrocephalus*. Dans les gorges inférieures de la Vésubie, dans les Alpes-Maritimes, la superposition directe de l'Oxfordien au Trias supérieur a été constatée par M. Léon Bertrand (3). Enfin, au Zaghouan, près de Tunis, M. Ficheur et moi (4), avons vu l'Oxfordien rouge à *Peltoceras transversarium* en contact direct avec le Lias, sans qu'il soit possible d'invoquer un contact mécanique.

On sait que, dans la chaîne du Jura, l'absence du Callovien supérieur, ou tout au moins de l'Oxfordien inférieur, au-dessous des couches à Spongiaires de l'Oxfordien moyen, est un phénomène très répandu, dont l'interprétation a donné lieu à de longues discussions. En ce qui me concerne, je me range entièrement à l'opinion de M. Riche (5).

Dans l'Ardèche, vis-à-vis de Valence, M. Munier-Chalmas (6) a constaté en divers points une transgressivité analogue. A l'ouest de Châteaubourg, l'Oxfordien moyen recouvre le Callovien moyen à *Reineckia anceps*, à Soyons il s'appuie même sur le Trias, envahissant un dôme qui était encore resté partiellement émergé au Bajocien.

La transgression de l'Oxfordien moyen est un fait tout à fait général sur le bord septentrional du Massif Central; elle a été observée dans le Berry, par MM. Douvillé et de Grossouvre, dans la Côte-d'Or, par M. Collot (7). Elle a été retrouvée, par M. Dereims (8), dans l'Aragon, où le Callovien supérieur fait toujours défaut.

(1) C. MOESCH. Geologische Beschreibung der Kalkstein- und Schiefergebirge der Kantone Appenzell, St-Gallen, Glarus und Schwyz. *Matér. Carte géol. suisse*, livr. XIV, 3, p. 123, 1881.

(2) Livret-guide des excurs. en France, XII^b, p. 9.

(3) Communication verbale.

(4) Sur les dômes liasiques du Zaghouan et du Bou-Kournin (Tunisie). *C. R. Acad. Sc.*, 8 juin 1896.

(5) ATTALE RICHE. Etudes stratigraphiques sur le Jurassique inférieur du Jura méridional. *Annales Univers. Lyon*, t. VI, 3, p. 354-363, 1893.

(6) MUNIER-CHALMAS. Sur les accidents stratigraphiques des terrains secondaires des environs de Valence. *B. S. G. F.*, 3^e sér., t. XXVIII, 1900, p. 67.

(7) V. ATTALE RICHE. *Loc. cit.*, p. 362.

(8) A. DEREIMS. Recherches géologiques dans le Sud de l'Aragon. *Annales Jébert*, t. II., Lille, 1898, p. 132.

Dans le Nord du bassin de Paris, en Angleterre, en Allemagne, en Bohême, par contre, on n'a jamais rien mentionné de semblable et il paraîtrait plutôt que l'Oxfordien supérieur correspond, dans ces régions, à un mouvement négatif de la mer, grâce auquel le régime corallien peut commencer à s'établir.

Je n'ai pas de documents qui me permettent d'établir que le mouvement positif de l'Oxfordien supérieur, caractéristique des Alpes occidentales et de leur avant-pays, s'est fait sentir également dans d'autres parties de la Tethys ou dans le géosynclinal circum-pacifique.

Les étages suivants du Jurassique supérieur paraissent plutôt être en retrait dans les géosynclinaux. Le KIMERIDGIEN, en particulier, n'a guère été signalé, en dehors de l'Europe, que sur les aires continentales : dans le Liban, le Choa, la presqu'île de Cutch. En Europe, il est bien développé sur plusieurs massifs anciens où le Portlandien est entièrement absent : dans la Meseta ibérique, en Bohême, en Podolie, dans la Dobrogea.

Le PORTLANDIEN fournit encore un des meilleurs exemples d'une transgression dans les géosynclinaux qui correspond à une régression sur les aires continentales. J'ai consacré à ces deux mouvements en sens inverse plusieurs pages dans un travail, publié ici même, auquel je renvoie le lecteur (1).

Transgression graduelle du Lias, préparée déjà au Trias supérieur, régression du Bajocien au Callovien, faible transgression à l'Oxfordien, suivie peut-être au Kimeridgien d'une légère régression, grande transgression du Portlandien, atteignant son maximum au sommet de l'étage — telles sont, en résumé, les oscillations du niveau des mers jurassiques dans la Tethys et dans les autres géosynclinaux.

Dans les aires continentales les phénomènes successifs peuvent être ainsi résumés : régression au Lias, transgression graduelle du Bajocien au Callovien, peut-être régression oxfordienne et légère transgression au Kimeridgien, régression très considérable au Portlandien et principalement au Portlandien supérieur.

Dans les deux cas, la succession des mouvements positifs et négatifs est entièrement différente de ce qu'elle est au Crétacé. On a vu plus haut que, dans la première phase de cette période, du Néocomien au Turonien, la mer est en régression graduelle dans les géosynclinaux et en transgression sur les aires continentales ; puisque, à l'Emscherien, les géosynclinaux sont à nouveau envahis par

(1) Portl., Tith. et Volgien

la mer, qui se retire des aires continentales ; enfin, qu'à la fin de la période, à l'Aturien et au Danien, les géosynclinaux se comblent, tandis que les aires continentales sont en partie submergées.

LES MERS TERTIAIRES. — Le passage du Silurien au Dévonien, du Dévonien au Carbonifère, du Permien au Trias, du Jurassique au Crétacé s'effectue dans les géosynclinaux par des séries continues, concordantes, souvent bathyales, dans lesquelles on ne peut en général établir qu'une limite stratigraphique arbitraire. Sur les aires continentales, par contre, il existe presque toujours des lacunes entre les deux systèmes consécutifs et la limite est alors facile à tracer. Il n'en est pas de même pour la limite entre le Crétacé et le Tertiaire. On ne connaît pas de région où le passage de l'un des systèmes à l'autre s'effectue insensiblement, par des formations bathyales. Dans les géosynclinaux où le Sénonien tout entier est bathyal, l'ÉOCÈNE INFÉRIEUR fait presque toujours défaut (1). Les points où ce terme inférieur de la série tertiaire existe appartiennent à des zones situées en dehors de l'axe des géosynclinaux, voire même à des aires continentales.

Nous avons vu plus haut que certaines parties des aires continentales ont été envahies par les eaux de l'Aturien ; le Danien accentue ce mouvement de transgression et, dans beaucoup de régions, l'Éocène inférieur s'étend sur des surfaces beaucoup plus considérables, de manière à reposer quelquefois sur des dépôts quelconques. Les trois étages sont alors stratigraphiquement indépendants. D'autres fois, ils sont en continuité parfaite. Comme exemple classique du premier cas, je citerai le nord du bassin anglo-parisien ; comme exemple du second, les Pyrénées et l'Istrie. Le Sud-Est de la Russie rentre dans le premier cas (2). On ne sait rien de précis sur la région à l'est de l'Oural. La transgression de l'Éocène inférieur est bien connue dans le Vicentin, qui se trouve incontestablement en dehors du géosynclinal alpin et qui est caractérisé exclusivement par des formations éocènes néritiques. Elle est très générale dans le Nord de l'Afrique, à partir de la zone des Hauts Plateaux et à l'exclusion de la zone littorale (3).

(1) Dans les Landes et dans les Basses-Pyrénées, l'Aturien est représenté par des calcaires à *Stegaster* riches en Ammonites ; le Danien, par des calcaires à *Coraster*, *Nautilus danicus*. L'Éocène inférieur à *Nummulites spileccensis* repose en concordance et sans lacune sur le Danien. Toutefois l'Emscherien n'est pas représenté dans la région. Dans le reste des Pyrénées le Sénonien comporte des termes néritiques.

(2) PAVLOW. Guide des excursions du VII^e congrès géol. intern., XX, p. 7, 1897.

(3) E. FICHEUR. Les Terrains éocènes de la Kabylie du Djurjura, Alger, 1890.

Dans l'Inde péninsulaire, l'Eocène le plus ancien (couches de Ranikot) est transgressif par rapport aux couches daniennes. Sur la côte orientale des États-Unis, la série tertiaire, succédant à l'Aturien, débute par un terme plus élevé de l'Eocène inférieur.

Dans les régions qui subiront des plissements intenses vers la fin de la période tertiaire, l'Eocène inférieur manque presque toujours et la série éocène débute par les couches à *Nummulites perforata* ou par l'Eocène supérieur (1), reposant, à la suite de mouvements orogéniques, en discordance et en transgressivité sur des termes quelconques du Secondaire, ou même sur des terrains paléozoïques ou cristallophylliens. En revanche, sur les aires continentales, un mouvement négatif commence à la fin du Lutétien et atteint son maximum à l'Eocène supérieur.

Les couches à *Nummulites perforata* sont transgressives dans les Corbières, dans les Alpes occidentales (Alpes Maritimes, Ubaye, Bauges, Schwyz), dans les Alpes orientales (Kressenberg, Radstadt, Vicentin), dans l'Apennin, au Monte Gargano, en Calabre, dans le Tell, en Andalousie, à Majorque, en Hongrie, dans les Carpathes Roumaines.

En dehors de l'Europe on a constaté la transgressivité de ce même niveau — ou tout au moins sa présence dans des régions où d'autres niveaux éocènes n'ont pas été signalés — en Perse, dans le Tibet (2), à Madagascar, dans le Gazaland, à Java, etc. En Californie, les couches de Tejon, qui appartiennent à l'Eocène moyen, reposent sur les couches de Chico, qui sont sénoniennes.

L'Eocène supérieur ou Priabonien déborde sur les couches à *Nummulites perforata*. C'est par lui que commence presque toujours la série tertiaire dans les Alpes occidentales. En Algérie il est transgressif dans toute la région littorale et se rencontre précisément dans les régions où manque l'Eocène inférieur.

Dans les Alpes de la Haute-Provence, les grès d'Annot, qui représentent un équivalent du « Sannoisien », exagèrent encore la transgression du Priabonien. La mer gagne en étendue ce qu'elle perd en profondeur.

Dans la dépression qui délimite au sud le « bouclier scandinave » et la « plateforme russe », la série transgressive débute par l'équivalent du Priabonien, par l'Oligocène inférieur des géologues allemands, et cette dépression se comporte maintenant comme un

(1) Classification française. Eocène supérieur et Oligocène inférieur dans la classification allemande.

(2) E. SUSS. Beiträge zur Stratigraphie Central-Asiens. *Denkschr. d. math. naturw. Cl. d. K. Akad. d. Wiss.*, t. LXI, p. 463, 1894.

véritable géosynclinal. La transgression pénètre un peu plus tard, au Sannoisien, dans l' « aire d'ennoyage » du bassin de Paris.

Avec le STAMPIEN la régression est générale dans la région alpine, le géosynclinal est comblé. Le même étage est, par contre, transgressif sur les massifs anciens de l'Europe centrale et septentrionale.

Les documents font défaut pour apprécier les faits en dehors de l'Europe.

Le début de la période NÉOGÈNE est marqué par un retour de la mer dans les régions alpines. Il se forme un géosynclinal très peu profond, sur les deux bords de la chaîne, et les eaux commencent à y pénétrer dès l'Aquitanién. Au Langhien ou Burdigalien ce mouvement positif s'accroît, il atteint son maximum à l'Helvétien. Le Tortonien correspond, par contre, déjà à une phase de retrait, car l'invasion de certaines parties de la région alpine par les eaux du « 2^e étage méditerranéen » est due non pas à une « transgression », ni même à une « ingression », mais bien à une « irruption » de la mer, due à des effondrements.

Cette régression dans les régions plissées, qui commence au Tortonien, atteint son maximum au Pontien. C'est l'époque où s'achèvent les plissements alpins. Pendant ce temps, le Nord de l'Europe est de nouveau envahi. La mer recouvre au Miocène supérieur une partie de la Belgique et la région côtière du Nord-Ouest de l'Allemagne ; au Pliocène elle atteint l'Est de l'Angleterre, débordant bien au-delà des limites de la mer du Nord actuelle. En Belgique, il y a concordance parfaite entre le Miocène supérieur (Anversien) et le Pliocène inférieur (Scaldisien), contrairement à ce qui a lieu dans l'Europe méridionale.

L'invasion marine dans le Nord de l'Europe, à la fin du Miocène, n'est pas une véritable « transgression », c'est une « ingression », de même que celle qui affecte le massif Armoricaïn à la même époque. Les continents ont acquis leur forme actuelle et ne sont plus recouverts par des transgressions générales. Dans la région méditerranéenne les invasions marines du Pliocène ne peuvent pas davantage être envisagées comme de véritables « transgressions », ce sont en général des « irruptions » ; la formation de la mer Egée est peut-être due à une « ingression ».

En dehors de l'Europe, les données manquent pour tirer des conclusions analogues. Je rappellerai seulement que la transgression miocène a été signalée au Chili, au pied de la Cordillère.

Conclusions.

Nous voici arrivés à la fin de cet exposé, trop détaillé, peut-être, pour une première ébauche d'une nouvelle théorie, trop écourté, assurément, pour un travail de documentation. La loi que j'ai formulée au début de cette troisième partie se trouve vérifiée, elle est l'expression empirique des faits, il me reste à en donner l'interprétation, à conclure par une hypothèse qui définisse les causes du phénomène de déplacement des rivages.

J'ai déjà éliminé toutes les hypothèses qui ont recours, pour expliquer les transgressions et les régressions, à des mouvements propres de la nappe océanique et en particulier celles qui font intervenir des causes astronomiques.

Je vais essayer de démontrer que les déplacements des lignes de rivage sont dus exclusivement à des mouvements de l'écorce terrestre.

En ce qui concerne les transgressions et les régressions dans les géosynclinaux, leurs relations avec les phénomènes de plissement sont pour ainsi dire évidentes. Il suffira de se reporter aux pages précédentes pour se convaincre que, dans les géosynclinaux, les principales transgressions sont toujours consécutives d'une phase de plissement. Je rappellerai la transgression du Cambrien, celle du Dévonien, qui fait suite immédiatement aux mouvements calédoniens, celles de l'Ouralien et du Permien, consécutives des mouvements carbonifères, celle du Portlandien, précédée par des plissements incontestables, celle du Sénonien, celle de l'Eocène moyen, qui sont dans le même cas, celle du Miocène, localisée sur le bord des chaînes, qui suit l'exhaussement dans les zones centrales. Les principales phases de régression correspondent aux phases orogéniques elles-mêmes. Je me bornerai, à l'appui de cette assertion, à citer la régression moscovienne, la régression cénomaniennne et turonienne, la régression post-sénonienne, celle de la fin du Miocène. La corrélation saute aux yeux.

Il est manifeste que celles des zones de la chaîne qui ont été plissées, sont devenues des géanticlinaux généralement émergés et divisant le géosynclinal primitif en géosynclinaux secondaires. Après la phase de plissement le tout s'est de nouveau affaissé, les géanticlinaux ont été à nouveau recouverts par la mer et les mêmes phénomènes se sont reproduits dans le même ordre jusqu'à l'exhaussement définitif.

L'explication des mouvements positifs et négatifs sur les aires continentales est plus difficile à donner.

Le fait que les régressions dans les géosynclinaux sont synchroniques des transgressions sur les aires continentales pourrait faire supposer que la formation des géanticlinaux, dont il vient d'être question, aurait amené un déplacement d'eau qui se serait traduit par une élévation générale du niveau des mers et par un mouvement positif des eaux sur le bord des aires continentales. Inversement, on pourrait admettre que, lorsque les géosynclinaux s'enfoncent, le niveau général des mers s'abaisse d'une manière générale et que les aires continentales ont une tendance à émerger.

Il est incontestable que ces oscillations du niveau des mers, véritables « mouvements eustatiques » (1), doivent exister, mais on peut se demander si elles suffisent à elles seules à expliquer des transgressions aussi étendues que celle de la mer cénomanienne, ou des régressions comme celle du Lias. Je l'ai cru pendant longtemps et ce n'est qu'après une étude approfondie des aires de surélévation et de leurs dépressions périphériques que je me suis trouvé conduit à attribuer les transgressions et les régressions sur les aires continentales à des oscillations verticales de ces aires elles-mêmes.

Les aires de surélévation peuvent être envisagées comme des aires continentales en petit et les dépressions qui les entourent peuvent être assimilées à des géosynclinaux. Les oscillations verticales des aires de surélévation ne peuvent plus aujourd'hui être mises en doute et les travaux des géologues scandinaves et nord-américains sont absolument concluants à cet égard. Par analogie on peut admettre que les aires continentales sont affectées de mouvements semblables, dits *épéirogéniques*, et, du moins que ces oscillations existent, on doit songer à rechercher une corrélation entre elles et les mouvements, dits *orogéniques*, des géosynclinaux.

Nous avons vu que les oscillations des deux catégories de régions sont synchroniques, mais de signe différent, il est donc plausible d'admettre non pas un rapport fortuit, mais une relation de cause à effet entre les deux mouvements.

Cette relation peut être conçue de deux manières différentes.

Dans une première hypothèse, le phénomène primordial serait l'oscillation verticale des aires continentales. Chacune de ces aires

(1) Ces « mouvements eustatiques » ne sont, comme on le voit, pas dus aux mêmes causes que ceux de M. Suess, qui, on s'en souvient, ont pour origine la formation des fosses océaniques et l'accumulation des sédiments. Par leur essence même ils ne sont pas universels.

étant assimilée à une voûte, toute oscillation positive se traduirait par une diminution de surface de la base, toute oscillation négative correspondrait, par contre, à une augmentation de cette même surface. Dans le premier cas, la pression latérale qu'exerce la voûte sur ses pieds-droits, c'est-à-dire sur le bord du géosynclinal périphérique, tend à diminuer ; dans le second, elle augmente. Deux aires continentales voisines, oscillant dans le même sens et séparées par un géosynclinal, exerceront alors une pression tangentielle sur ce géosynclinal, qui se trouvera comme écrasé entre les deux mâchoires d'un étau. Des plissements résulteront de cette compression latérale, qui pourront se traduire par une émergence partielle. Dans le cas de la décompression, il se produira un tassement et un approfondissement du géosynclinal. Telle est précisément la succession des phénomènes.

Dans une deuxième hypothèse, c'est dans les géosynclinaux que résideraient les mouvements primordiaux. Une contraction, une striction du géosynclinal déterminerait une diminution de la pression latérale sur les pieds-droits de l'aire continentale, toujours assimilée à une voûte. Un fâssement déterminerait une augmentation de la dépression latérale et une surrection de l'aire continentale. Dans le cas de la décompression, la voûte s'affaisserait et pourrait même s'effondrer, ce qui, nous l'avons vu, est le sort des aires continentales.

Je n'opterai pas entre ces deux hypothèses, d'autant plus que la théorie de l'isostasie pourrait peut-être les concilier toutes deux. Je n'approfondirai pas davantage cette question, car je me trouverais conduit à discuter les problèmes les plus ardues de la géotectonique. Je laisse ce travail à de plus compétents que moi.

Si, dans ce mémoire, j'avais réussi à convaincre le lecteur de la corrélation qui existe entre les mouvements du sol et les déplacements des lignes de rivage, je considérerais ma tâche comme accomplie. Il m'a fallu souvent remonter très loin, définir des notions fondamentales, mais souvent obscures, et ce n'est qu'après de longs détours que j'ai pu m'approcher du but. J'ai dû laisser beaucoup de points dans le vague, aussi bien ceci n'est-il qu'une ébauche et le sujet mérite-t-il des recherches plus approfondies, auxquelles je serais heureux de voir concourir un très grand nombre de géologues.

SOMMAIRE

PREMIÈRE PARTIE. — Les géosynclinaux

I. — Notions générales	618
Définition	618
Caractère bathymétrique des géosynclinaux	619
Relations entre les géosynclinaux et les plissements	626
Situation des géosynclinaux par rapport aux masses continentales	630
II. — Situation géographique des géosynclinaux aux diverses époques géologiques	632
Extension des plissements tertiaires	634
Les géosynclinaux de la période secondaire	636
Les géosynclinaux paléozoïques	638
Les géosynclinaux tertiaires	640

DEUXIÈME PARTIE. — Les masses continentales

I. — Détermination géographique déduite de l'emplacement des géosynclinaux	642
Continent nordatlantique	643
Continent sino-sibérien	644
Continent africano-brésilien	645
Continent australo-indo-malgache	646
Continent pacifique	646
II. — Caractères zoogéographiques (et phytogéographiques) des anciens continents	649
Principes généraux	649
Continent nordatlantique	652
Continent sino-sibérien	656
Continent australo-indo-malgache	656
Continent africano-brésilien	658
Continent pacifique	662
Résumé	663
III. — Le morcellement des continents	664
Aires de surélévation et aires d'ennoyage	665
Zones de plissement sur le pourtour des aires de surélévation	670
Les effondrements	676
Succession des phénomènes de morcellement dans les cinq masses continentales	678

TROISIÈME PARTIE. — Les transgressions et les régressions

Loi générale	681
Exemples fournis par les terrains crétacés	684
Les mers paléozoïques	690
Les mers secondaires	697
Les mers tertiaires	705
Conclusions	708