

Les types fondamentaux de la sédimentation

Objekttyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **32 (1939)**

Heft 1

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

parition d'une bonne partie de la plateforme qui se ramène alors à une zone plus étroite, de quelques dizaines de km et moins encore. Dans ce cas l'émergence assez marquée de l'aire continentale va déterminer un relief continental plus accentué et de ce fait permettre à l'alluvionnement de jouer un rôle plus actif. C'est ce qui semble être le cas pour les côtes de l'Afrique sur les versants des Océans Atlantique et Indien où règne actuellement un type sédimentaire très spécial, qui dans l'ensemble paraît devoir encore être rattaché à la sédimentation épicontinentale, malgré la réduction de la région néritique et la présence du talus maritime à des distances assez restreintes des zones littorales.

D. Les types fondamentaux de la sédimentation.

I. Faciès et types de sédimentation marine.

Les cadres régionaux de la sédimentation.

L'interprétation des faciès néritiques, bathyaux et abyssaux telle que l'a établie HAUG a déjà soulevé bien des critiques, la plupart cependant émises lors de cas particuliers. Toutefois certains travaux d'ordre plus général ont essayé de modifier ou de compléter les notions formulées par HAUG. C'est le cas du travail de L. STRAUZ (Bibl. 65) qui a surtout tenté de fonder la notion des faciès sur des bases essentiellement lithologiques, ramenant à un rôle accessoire les facteurs paléontologiques. Egalement certaines mises au point importantes ont été formulées par L. BERTRAND (Bibl. 11). Mais comme nous l'avons vu, ni les facteurs bathymétriques et lithologiques, ni pareillement ceux de nature biologique ou paléontologique, ne peuvent suffire à eux seuls ou même combinés, à la reconstitution des conditions géographiques des époques géologiques.

La notion des faciès marins prend au contraire un sens infiniment plus précis et plus proche de la réalité si l'on arrive à situer ces faciès dans un cadre géographique. Dans ce cas seulement les processus complexes de la sédimentation marine ramenés non seulement à des facteurs bathymétriques, physiques et biologiques du milieu marin, mais interprétés également en fonction des conditions topographiques et climatiques des régions continentales, permettent de rétablir les conditions paléogéographiques d'une région. Mais ces conditions paléogéographiques doivent correspondre très certainement à des conditions qui persistent encore aujourd'hui dans les mers et les océans de sorte que la sédimentation actuelle, infiniment variée et faite de multiples cas particuliers reste en quelque sorte la meilleure source dans l'interprétation des séries géologiques.

Or l'analyse des formations géologiques, notamment celles de l'Insulinde et de l'Amérique centrale, à l'aide de la sédimentation actuelle, montre que la succession classique des sédiments marins en tant que faciès néritiques, bathyaux et abyssaux, telle que l'a envisagé HAUG, et à sa suite la plupart des géologues, ne correspond qu'à un schéma difficile, le plus souvent impossible à situer dans la réalité. Car, comme on l'a vu, il n'existe pas un faciès néritique bien déterminé, malgré la constance des conditions bathymétriques. On est conduit nécessairement à admettre plusieurs catégories de sédiments néritiques, souvent très différents les uns des autres et qui impliquent des conditions de sédimentation dans des milieux géographiques bien définis. C'est ce qui m'a conduit à distinguer dans la sédimentation néritique trois types principaux et que j'ai nommés types paralique, épicontinentale et marginal.

D'autre part on constate que dans le domaine des archipels et des mers bordières, une différenciation entre faciès bathyal et abyssal ne se justifie pas ou très difficile-

ment. Ce n'est en somme que dans le domaine des régions océaniques qu'il est parfois possible de discerner certains sédiments propres à un faciès abyssal franc. Bref, comme l'exprime PRATJE dans un article récent, l'interprétation des sédiments n'a de valeur que dans un cadre régional, qui seul permet de tenir compte des multiples facteurs qui dirigent dans un sens ou dans un autre les phénomènes multiples réglant la sédimentation marine (Bibl. 54).

Ces cadres régionaux, nous les avons vus envisagés par les géologues sous le double aspect des géosynclinaux et des mers épicontinentales. Vis-à-vis des conditions géographiques actuelles cependant, la réduction des conditions géographiques des mers anciennes à deux formes principales, souvent d'ailleurs mal définies et employées, du moins celle de géosynclinal, dans les sens les plus variés et même pour des domaines franchement continentaux, ne peut aboutir qu'à des confusions multiples.

En se basant sur les aspects géographiques des mers et des océans actuels et après avoir analysé plus particulièrement les conditions ayant régné dès le Tertiaire dans les domaines variés de l'Insulinde et de l'Amérique Centrale, on peut, laissant de côté quantité de cas particuliers, envisager une classification différente des cadres régionaux, mais pour laquelle j'ai conservé les deux dénominations de géosynclinal et de mer épicontinentale, tout en précisant leur sens. On aura les types suivants :

- 1) Régions des plateformes continentales à sédimentation paralique.
- 2) Régions des plateformes continentales à sédimentation épicontinentale.
- 3) Régions des archipels, des mers bordières à bassins profonds et des cordillères continentales en bordure des océans : régions géosynclinales.
- 4) Régions des fonds océaniques, à sédimentation exclusivement marine ou océanogène.
- 5) Régions des aires continentales, avec les différents types de la sédimentation franchement continentale (dépôts ou faciès lacustre, fluvial, glaciaire, éolien, etc.).

Cette dernière région représente un mode sédimentaire qui nous intéresse en ce sens qu'il est uni par de multiples passages avec les régions paraliques et épicontinentales, de même que la région des fonds océaniques est souvent intimement associée aux zones géosynclinales.

Voyons maintenant brièvement les caractères principaux de la sédimentation dans ces diverses régions, avec leurs types actuels et certains de leurs équivalents géologiques.

1. Sédimentation paralique.

Caractères généraux. — Sédimentation propre aux plateformes continentales, généralement de grande étendue, intracontinentales ou péricontinentales, soumises à un intense alluvionnement terrigène. Dépôts accumulés en partie dans le milieu marin, en partie aussi dans les milieux saumâtres et continentaux, l'ensemble montrant une intrication compliquée de ces différents types sédimentaires. Faciès marins exclusivement néritiques, caractérisés par la prédominance des roches détritiques, les roches organogènes ne jouant qu'un rôle subordonné. Subsidence considérable et le plus souvent continue, déterminant l'accumulation de séries très monotones dans l'ensemble et pouvant atteindre des épaisseurs de plusieurs milliers de mètres.

Types actuels. — Réalisés sur toutes les grandes plateformes alluviales comme celles de la Sonde, du Mississippi, et celles situées à la marge des aires

continentales soumises à l'alluvionnement de fleuves à charges considérables (voir exemples à la page 71).

Equivalents géologiques. — Représentés tout particulièrement par ce qu'on a parfois appelé les « formations terminales », accumulées en épaisseurs souvent énormes sur les plateformes continentales.

On a souvent localisé ces formations terminales à la bordure immédiate des grandes chaînes de montagnes. En fait, cette accumulation de dépôts détritiques de part et d'autre d'une chaîne de montagnes ne correspond qu'à un premier stade de cette sédimentation, car progressivement on voit ces dépôts repris par les érosions ultérieures et venir s'accumuler sur les plateformes continentales situées souvent très loin de la chaîne principale. C'est ainsi que la Molasse tertiaire, formation terminale de la chaîne des Alpes, s'est d'abord accumulée en épaisseurs de plusieurs milliers de mètres sur le bord immédiat de la chaîne oligocène, pour constituer tout spécialement ce qu'on nomme aujourd'hui la zone subalpine de la Molasse, d'âge essentiellement stampien et aquitainien. Dans le Néogène on assiste à la migration progressive de cette plateforme d'accumulation, représentée aujourd'hui principalement par les régions des Molasses miocènes, déjà à une certaine distance du bord alpin. Une nouvelle migration intervient lors du dernier paroxysme alpin, vers la fin du Néogène, entraînant le déplacement de la région d'accumulation bien au delà du bord alpin. En effet, dès le début du Quaternaire on voit la sédimentation paralique se poursuivre à de grandes distances de la chaîne des Alpes. En ce qui concerne la région du N des Alpes, elle s'effectue dans ce que A. DE LAPPARENT a appelé les « Pays-Bas de l'Europe septentrionale » et qui correspond à une zone d'affaissement de plusieurs centaines de mètres s'étendant du Pas de Calais par les Flandres et la Hollande aux plaines de l'Allemagne du Nord. Aujourd'hui le phénomène se poursuit sur les plateformes submergées de cette vaste région, Mer du Nord et Mer Baltique.

On a vu ce type réalisé dans le Néogène de Sumatra, de Bornéo et de Java, également dans le Tertiaire de la Gulf Coast. J'ai cité un peu plus haut la Molasse du sillon périalpin. Il en est de même du Pliocène de l'Europe orientale. Car dans ces deux dernières formations, on constate une intrication particulièrement complexe des faciès continentaux et saumâtres, souvent à bancs de charbons ou à horizons pétrolifères, avec des faciès marins presque exclusivement terrigènes, se rattachant entièrement à la région néritique. Car soit le SCHLIER de la partie orientale du bassin molassique, soit les sédiments fins et argileux, d'âge vindobonien, du bassin rhodanien, bien qu'accusant des caractères moins littoraux que les dépôts habituels de la Molasse, ne peuvent être qualifiés de bathyaux. Il en est de même pour les séries marneuses à *Cardium* du Pontien de Roumanie.

Dans le Paléozoïque, ce type sédimentaire est réalisé au Permo-Carbonifère par les formations houillères de l'Europe occidentale et de l'Amérique du N. Car c'est tout à fait à tort que l'on a parfois homologué les formations houillères avec la formation essentiellement marine du Flysch alpin. Il en est exactement de même avec les « Molasses dévoniennes » ou plus anciennes encore. C'est ainsi que l'Old red sandstone, aussi bien celui de l'Ecosse que celui du Spitzberg, de la Norvège et du Groenland, par ses caractères lithologiques et paléontologiques, rentre en partie dans la catégorie des sédiments paraliques, en partie aussi dans la catégorie de la sédimentation continentale, qu'il est souvent difficile de séparer de la précédente, et non dans la sédimentation orogénique ou géosynclinale comme le suppose en particulier BÜTLER (Bibl. 21).

Cas des formations pétrolifères. — De même que les charbons ou les gypses et les sels ne sont pas liés à un type exclusif de sédimentation et peuvent se former dans des conditions géographiques variées, et en ce qui concerne les charbons, sous des climats divers, de même les roches bitumineuses et pétrolifères peuvent apparaître localement dans plusieurs types sédimentaires. La présence de boues sapropéliques dans les fonds abyssaux de la Mer Noire montre que ces

dépôts peuvent, dans le cas de conditions biologiques très spéciales, se former même en association avec des faciès marins très profonds. Cependant les puissantes séries à horizons pétrolifères, tout comme les grandes formations houillères et à lignite, paraissent nettement liées à des dépôts de plateformes à sédimentation alluviale. Car on les trouve toujours associées à des sédiments marins du type des plateformes paraliques et souvent en alternance avec des sédiments continentaux : Ceux-ci généralement finissent par former d'ailleurs la partie supérieure des grandes séries pétrolifères. La présence fréquente de formations pétrolifères à la marge de grandes chaînes de montagnes à sédimentation essentiellement géosynclinale, a conduit beaucoup d'auteurs à laisser également les grandes formations de pétrole dans le domaine des géosynclinaux. En fait, et à moins de vouloir ranger, comme on l'a vu, toutes les formations très épaisses, quels que soient leurs faciès, dans les dépôts géosynclinaux, il est évident qu'il s'agit d'accumulations propres aux aires continentales submergées et soumises à un alluvionnement très intense dans des conditions biologiques particulières.

2. Sédimentation épicontinentale.

Caractères généraux. — Sédimentation réalisée elle aussi sur des plateformes continentales généralement vastes, mais soumises ici à l'accumulation de dépôts essentiellement d'origine chimique ou organique, à participation limitée de l'alluvionnement continental. Subsidence modérée, mais soumise à des oscillations verticales plus fortes que dans le cas des dépôts paraliques et déterminant soit des émergences de vastes régions, soit des affaissements assez sensibles parfois pour permettre momentanément des dépôts débordant quelque peu le domaine de la région néritique. En général, épaisseur modérée des séries sédimentaires, mais qui peut toutefois être de l'ordre de 1000 à 2000 m.

Types actuels. — En plus des exemples déjà décrits, plateforme du Sahoul, du Yucatan, de la Floride-Bahama, on peut citer également les côtes NE de l'Australie avec un développement considérable des formations coralliennes.

Un type semblable, mais réalisé sur des plateformes plus étroites avec localement participation de la sédimentation paralique, est constitué par la majeure partie des côtes africaines en bordure des océans Indien et Atlantique, puis par les côtes de la presqu'île du Dekkan, les côtes de l'Amérique du S entre le cap S. Roque et l'embouchure de la Plata, enfin par les côtes occidentales et méridionales de l'Australie. Dans ces divers cas, l'étroitesse de la plateforme et la présence le long des côtes de reliefs plus marqués, déterminent une réduction de la sédimentation organogène et la participation plus active de dépôts terrigènes.

Equivalents géologiques. — Ce type sédimentaire, à cause de sa richesse particulière en fossiles résultant de conditions biologiques favorables, de ses variations de faciès à caractères progressifs, de sa tendance à des oscillations rapides permettant le plus aisément le repérage des transgressions et des régressions marines et enregistrant par ses cycles sédimentaires les oscillations verticales d'une certaine amplitude, demeure le domaine idéal de la stratigraphie. C'est à ce type sédimentaire que se rattachent les régions classiques des bassins jurassiques, crétacés et tertiaires de l'Europe occidentale (cuvette germanique, bassin anglo-parisien, chaîne et plateaux jurassiens).

Un autre exemple de ce type sédimentaire est fourni par une partie du Trias alpin. Celui des Alpes occidentales rentre en majeure partie dans les types paraliques et continentaux, les puissantes formations lagunaires représentant une forme de la sédimentation paralique réalisée sous des conditions climatiques particulières. Par contre, tout le Trias austro-alpin offre des caractères épicontinentaux indéniables. C'est le cas des formations marines, grès, calcaires

dolomitiques, marnes à Bivalves et à Gastéropodes. Il en est de même pour les calcaires à Céphalopodes, comme les fameux calcaires de Hallstatt, considérés sinon comme des dépôts abyssaux comme le pensait NEUMAYR, du moins comme des dépôts de mers particulièrement profondes par la plupart des géologues. Or il ne semble pas en être ainsi selon l'interprétation assez générale des géologues autrichiens (LEUCHS, FR. E. SUESS, etc.), qui les envisagent comme des formations encore néritiques, déposées à des profondeurs guère supérieures à celles des calcaires récifaux, en tous cas ne représentant pas des zones profondes caractéristiques des géosynclinaux.

3. Sédimentation géosynclinale.

Caractères généraux. — Liée à des conditions topographiques très particulières, marquées par des reliefs montagneux accentués, ainsi qu'à des conditions bathymétriques variées, à plateformes marginales aboutissant rapidement par un talus maritime en général restreint à des fonds abyssaux qui forment l'essentiel du domaine marin. Sédimentation très variable, souvent grossière le long des côtes et avec un développement modéré de portions soumises à des types sédimentaires analogues aux sédimentations paraliques et épicontinentales, le tout caractérisé par un passage rapide et une intrication générale de ces faciès néritiques très hétérogènes à des faciès profonds, sans qu'il soit possible le plus souvent de démarquer les faciès bathyaux des faciès abyssaux à cause de conditions locales des divers sillons marins.

Caractère marin très prononcé, mais très hétérogène, de même épaisseur très variable des dépôts, à cause de mouvements rapides et divers des terres et des mers. Dans l'ensemble, la sédimentation est plus intense que celle du type épicontinental, mais reste en dessous de la sédimentation paralique.

Types actuels. — En plus des exemples décrits, archipel des Moluques, région des Antilles, côtes océaniques de l'Insulinde, on peut citer la région N de la Méditerranée actuelle — les côtes de la Méditerranée entre la Tunisie et la Syrie rentrant essentiellement dans le type de la sédimentation épicontinentale —, les mers bordières de l'Asie orientale, les régions marines du SE de l'Australie et celles en marge de la Nouvelle Zélande, enfin l'ensemble des régions pacifiques des continents américains.

Equivalents géologiques. — Ils sont abondants mais difficiles à caractériser à cause de l'extrême variété de leurs types sédimentaires.

Cas des Alpes. Dans la chaîne des Alpes, ce type sédimentaire est réalisé sous deux formes essentielles, représentées par le faciès flysch et le faciès préalpin.

a) *Faciès du Flysch et du Wildflysch.* On a depuis longtemps mis en évidence ces formations, indépendamment de leur âge, pour caractériser ce qu'ARBENZ a nommé la sédimentation orogénique (Bibl. 5). Malheureusement ce terme d'orogénique a été étendu à quantités d'autres formations plus ou moins disloquées, mais présentant des grandes épaisseurs, telles que la Molasse ou l'Old red sandstone (Bibl. 21). Mais soit le Flysch, soit le Wildflysch, à la différence des formations paraliques, restent dans leur ensemble essentiellement marins et soumis à des conditions bathymétriques bien différentes de celles qui règnent sur les vastes plateformes à alluvionnement continental presque exclusif. Le Wildflysch en particulier, avec ses blocs exotiques, ses brèches, ses calcaires récifaux et ses grès, le tout interstratifié dans des schistes et des marnes à Globigérines, réalise au mieux le type sédimentaire qui règne dans le domaine des cordillères à faible plateforme et à régions marines profondes et soumises autant à la sédimentation terrigène qu'aux accumulations de nature organique. Le Flysch lui-même, plus tranquille, implique une sédimentation dans des domaines analogues, mais à caractères topographiques et bathymétriques plus réguliers (Bibl. 68).

b) *Faciès préalpin ou briançonnais*. Mais, à côté du faciès flysch, on trouve dans les mêmes régions des faciès à caractères sédimentaires plus précis et soumis à des variations de dépôts et d'épaisseurs plus régulières. Dans ce type il est possible d'établir des coupures d'étages beaucoup plus nettes et qui rappellent fort celles offertes par la sédimentation épicontinentale. Mais à la différence de cette dernière, on constate une sédimentation néritique plus grossière ainsi qu'une alternance beaucoup plus nette et plus équilibrée entre des complexes néritiques et d'autres franchement profonds. On peut réserver à ce type le nom de faciès préalpin ou faciès briançonnais à cause du développement de ce faciès dans les séries jurassiques et crétacées des régions des Préalpes de la Suisse, aussi bien des Préalpes inférieures ou ultrahelvétiques que des Préalpes supérieures (Nappe des Préalpes médianes). On trouve également ce type bien réalisé dans le Mésozoïque du Briançonnais des Alpes françaises (zones subbriançonnaise et briançonnaise de GIGNOUX, Bibl. 28).

C'est ainsi que dans les Préalpes médianes, le Lias est tantôt très épais, mesurant plusieurs centaines de mètres, tantôt très réduit ou lacunaire. Les variations de faciès y sont aussi très variées. Ce sont ces caractères si particuliers qui ont permis à divers géologues (JEANNET, HORWITZ, GAGNEBIN, PETERHANS, etc.) de reconstituer pour ces régions des conditions paléogéographiques très intéressantes et où l'on voit déjà apparaître le mécanisme compliqué du jeu de cordillères (géanticlinaux) et de bassins profonds (géosynclinaux). De même le Dogger peut mesurer jusqu'à 1000 m d'épaisseur et accuser des faciès qui le rapproche du Flysch (Dogger à *Zoophycos*) alors que dans une zone toute voisine on le voit réduit à un complexe peu épais et à faciès franchement côtier (Dogger à *Mytilus* sensu lato). Egalement le Malm est soumis à d'assez grandes variations de faciès et d'épaisseur. Le même phénomène se retrouve dans le Jurassique et le Crétacé des nappes ultrahelvétiques.

Caractères complémentaires de ces deux faciès. Le faciès flysch et le faciès préalpin ne s'opposent nullement mais au contraire se complètent. Généralement le premier surmonte le second, mais ils peuvent coexister dans le même géosynclinal. C'est ce que j'ai montré tout particulièrement pour le Crétacé ultrahelvétique, à faciès flysch dans la plus grande partie des Alpes autrichiennes, alors qu'il conserve encore la faciès préalpin dans les Alpes suisses (Bibl. 69). Car il ne faut pas oublier qu'en général un géosynclinal, surtout du type d'archipel, peut offrir des différences bathymétriques et sédimentaires considérables dans le sens longitudinal comme dans le sens transversal. Rappelons le cas actuel signalé par KUENEN (Bibl. 43, p. 54) du sillon Java-Timor dont les profondeurs maximales le long de son axe varient entre 1500 m et 7000 m; en outre ce sillon est soumis à des conditions sédimentaires bien variables selon qu'il est largement ouvert ou bien bordé étroitement par de hauts reliefs.

Il est impossible de développer ici cette analyse des faciès géosynclinaux même en se restreignant au seul domaine des Alpes. Il faudrait en outre la poursuivre dans d'autres chaînes, soit de cycles alpins, soit de cycles antérieurs. Pour le moment l'essentiel est de tâcher de rétablir à l'aide de quelques exemples concrets, des cas de sédimentation géologiques qui s'harmonisent non seulement avec la sédimentation de plateformes paraliques et épicontinentales, mais aussi avec le type actuel de la sédimentation marine qui s'effectue dans les archipels et à la marge des grandes cordillères continentales.

4. Sédimentation océanogène.

Caractères généraux. — Dépôts exclusivement marins, à matériel siliceux d'origine chimique ou organique, accumulés sur les fonds abyssaux au large des continents. Participation terrigène toujours faible, souvent nulle. Epaisseur

réduite, allant de quelques mètres à quelques dizaines de mètres. Types actuels des dépôts eupélagiques des océanographes: boues à Radiolaires et à Diatomées, boues rouges profondes, d'origine diverse (terrignène, chimique, volcanique).

Equivalents géologiques. — Ils sont vraisemblablement représentés par les sédiments franchement marins tels que les radiolarites, les calcaires à Radiolaires, peut-être certains calcaires à *Aptychus*. Toutes ces roches manquent totalement dans les sédimentations paralytique et épicontinentale. On les observe par contre associées aux sédiments géosynclinaux, ce qui est normal car il y a passage progressif des régions géosynclinales aux régions franchement océaniques. J'ai déjà signalé auparavant un certain nombre d'exemples de formations océanogènes dans les séries géologiques (voir p. 77—78), de sorte qu'il est inutile de les répéter ici.

II. Distribution générale des sédiments marins.

Distribution géographique des dépôts marins actuels.

La distribution horizontale actuelle des dépôts marins est évidemment fonction de l'étendue réciproque des diverses régions du sous-sol marin. Or comme le montre n'importe quelle carte bathymétrique, également toutes les cartes des dépôts actuels des océans, le gros de la sédimentation marine actuelle est constituée par des sédiments océaniques, hémipélagiques ou eupélagiques, apparemment très rares dans les séries géologiques.

Distribution des faciès dans les séries géologiques.

Ainsi donc, alors que les dépôts littoraux ne constituent dans la sédimentation actuelle qu'un pourcentage très réduit dans l'extension horizontale, on voit exactement l'inverse dans les séries géologiques. En particulier si l'on se rapporte à l'interprétation formulée aujourd'hui par la plupart des géologues, on aboutit à ranger la plupart des sédiments dans les faciès néritiques: les faciès bathyaux deviennent de plus en plus rares, on ne connaît bientôt plus de sédiments abyssaux. Et cela est d'autant plus frappant que le plus souvent encore il est fait usage de l'échelle de HAUG, qui fait donc débiter la sédimentation abyssale dès l'isobathe de 1000 m. Autrement dit, les multiples séries géologiques à travers toutes les périodes géologiques correspondraient essentiellement à des dépôts effectués tout au plus à des profondeurs de quelques centaines de mètres. Les grandes profondeurs qui aujourd'hui forment environ le 80% du relief sous-marin semblent n'avoir joué aucun rôle ou tout au moins ce rôle est si minime qu'il devient presque impossible de le déceler.

Cette tendance presque générale des géologues et plus spécialement des stratigraphes à ne plus vouloir reconnaître l'existence de sédiments abyssaux ou même bathyaux n'a pas échappé à certains auteurs qui se sont efforcés d'expliquer de diverses façons cette carence des sédiments profonds.

Pour HAUG, l'absence ou la rareté des sédiments abyssaux proviendrait du fait que les sédiments qui sont accessibles à nos investigations proviendraient non pas des océans eux-mêmes, mais essentiellement de mers intérieures, analogues à la mer des Caraïbes ou à la Mer Noire (Bibl. 32, p. 156). Il faut tout de suite convenir que ces arguments semblent en contradiction avec la théorie océanique des géosynclinaux formulée par HAUG lui-même. En outre, même en restreignant les dépôts géosynclinaux à des dépôts de mers bordières ou de mers intérieures, on constate que beaucoup de ces domaines marins, quoique moins profonds que les océans, ne sont pas dépourvus de fonds abyssaux. Précisément les exemples choisis par

HAUG ne sont pas des plus heureux, car soit la Mer des Caraïbes, soit la Mer Noire offrent de vastes surfaces en dessous de l'isobathe de 1000 m.

On a cherché bien d'autres explications. L'une, bien connue, repose sur l'hypothèse de la permanence des océans. D'ailleurs, l'explication précédente de HAUG se rattache indirectement à cette hypothèse sur laquelle il m'est impossible de m'arrêter ici et qui a été d'ailleurs abondamment développée par certains auteurs (A. PENCK, SOERGEL, DACQUÉ, etc.).

Une autre hypothèse envisage l'existence de fonds océaniques beaucoup moins profonds durant les périodes géologiques: les fonds océaniques seraient pour ces auteurs des aspects nouveaux, essentiellement propres à l'époque actuelle. Quant à la distribution du volume d'eau marine qui dans ce cas aurait dû être bien inférieure à ce qu'il est aujourd'hui, les explications sont variées. Pour P. TERMIER, par exemple, le volume des eaux marines aurait augmenté graduellement par suite de l'apport d'eaux juvéniles résultant de condensations d'origine interne (Bibl. 70, p. 386). Cette explication qui s'appuie sur la théorie des eaux juvéniles d'ED. SUESS n'est aujourd'hui guère acceptable. Pour d'autres auteurs le surplus des eaux aurait été entièrement logé dans les profondeurs de l'Océan Pacifique, qui, parmi les trois domaines océaniques fondamentaux, aurait plus spécialement comporté des fosses particulièrement profondes.

A. WEGENER, en s'appuyant surtout sur DACQUÉ qui estime, comme nous l'avons déjà vu, que presque tous les sédiments doivent être rangés dans les faciès néritiques, s'est largement servi de cette interprétation qui lui permet de poser le dilemme suivant: ou bien les fonds océaniques n'ont pas existé autrefois, ce qui paraît infirmé par l'impossibilité de loger la masse énorme des eaux marines, ou bien aucun fond océanique n'a été incorporé aux continents, et c'est, dans l'affirmative, une nouvelle preuve en faveur de sa théorie des translations et de la nature foncièrement différente des fonds océaniques et des socles continentaux (Bibl. 75, p. 12).

Distribution actuelle et passée des sédiments profonds.

En fait il semble bien que l'opposition entre les dépôts marins actuels et les sédiments des séries géologiques soit plus apparente que réelle. Car de ce qui précède on peut tirer les constatations suivantes:

1) Aujourd'hui aussi le gros du volume de la sédimentation marine est constitué par des dépôts néritiques, car comme on l'a vu (voir p. 76), la sédimentation marine résulte essentiellement des apports d'origine terrigène, accessoirement de l'accumulation chimique et organique. Or les matériaux terrigènes se déposent en majeure partie sur le domaine des plateformes: ce n'est que dans le cas des cordillères péricontinentales et des régions d'archipel qu'on assiste à l'accumulation considérable de dépôts terrigènes dans des zones bathymétriques plus profondes.

2) La plupart de ces sédiments profonds a été attribuée à tort à des formations néritiques à cause de leurs caractères plus ou moins détritiques, qui résultent de conditions géographiques propres aux régions d'archipels et de mers bordières.

3) Quant à l'extension limitée des dépôts abyssaux francs, telles que les radiolarites, dans les séries géologiques, il est plus difficile d'y répondre, d'autant plus qu'on ne peut encore se prononcer aujourd'hui sur l'équivalence exacte de ces roches: correspondent-elles seulement, comme l'envisage la plupart des géologues, à des dépôts limités, propres à certains sillons abyssaux, ou bien peut-on étendre leur équivalence à l'ensemble des dépôts océaniques? Mais dans les deux possibilités, leur extension restreinte dans les séries géologiques peut s'expliquer du fait que les fonds abyssaux, avant d'être incorporés aux masses continentales, semblent devoir passer par le stade morphologique réalisé aujourd'hui à la marge d'une partie des océans par l'intercalation entre les fonds océaniques et les socles continentaux d'archipels et de mers bordières. Ceci semble impliquer un plissement préliminaire des fonds océaniques avec émergence de vastes portions soumises dès lors à l'érosion et à la dénudation, d'où la disparition sur les segments émergés de la mince cou-

verture abyssale, celle-ci ne persistant que dans les portions ayant échappé aux jeux successifs de cordillères en voie d'émerision.

III. Récurrence sédimentaire et migrations des zones sédimentaires.

Récurrence des faciès et migration des géosynclinaux.

Une dernière question se pose que je ne puis que brièvement exposer. On a vu que l'on peut, d'un point de vue très général, ramener les types sédimentaires actuels et passés à cinq grands types, reliés d'ailleurs les uns aux autres par quantité de passages. Mais on peut également se demander si le jeu des phénomènes sédimentaires et tectoniques n'aboutit pas progressivement au remplacement dans une zone donnée d'un type sédimentaire par un autre. Cette idée de la succession des faciès selon un ordre constant n'est pas nouvelle et se pose presque naturellement dans l'interprétation des grandes séries sédimentaires. Elle a été exposée tout particulièrement par MARCEL BERTRAND en 1894 lorsque, généralisant le phénomène de la succession des faciès dans la chaîne des Alpes, ce géologue s'est efforcé de l'appliquer à l'ensemble des chaînes de montagnes qui se sont succédées depuis les temps antécambriens jusqu'à la fin de l'ère tertiaire (Bibl. 12).

L'interprétation lithologique de M. BERTRAND repose essentiellement sur la notion des quatre grands cycles orogéniques établis par ED. SUSS. C'est sur cette base tectonique qu'il a distingué pour les chaînes huroniennes, calédonniennes, hercyniennes et alpines, quatre grandes formations successives communes à chacune de ces chaînes: formations ou faciès des gneiss, faciès des Schistes lustrés, faciès du Flysch, faciès de la Molasse. Selon BERTRAND, ces termes successifs traduisent par leur nature et leur contenu sédimentaire, l'histoire générale des grandes chaînes de montagnes, les gneiss représentant le géosynclinal primitif dans lequel les sédiments auraient été métamorphisés, les Schistes lustrés indiquant l'accumulation ultérieure d'un faciès marin essentiellement profond, non métamorphique ou peu métamorphisé, le Flysch résultant de la subdivision accentuée de ce géosynclinal en bassins et saillies secondaires; enfin, après une phase orogénique intense, la Molasse équivaldrait aux sédiments terminaux accumulés aux pieds de la nouvelle chaîne.

Dans la suite l'idée de récurrence des grands cycles sédimentaires a été largement utilisée par la plupart des géologues qui ont traité de l'évolution des géosynclinaux, considérés comme le lieu d'origine des principales chaînes de montagnes. Cette interprétation, vivifiée par la notion de la tectonique en mouvement émise en 1916 par ARGAND pour le domaine alpin, puis généralisée ultérieurement par ce géologue pour l'ensemble des chaînes de montagnes, s'associe à la notion de la migration des géosynclinaux, qui implique elle aussi dans les grandes chaînes de montagnes la succession de faciès déterminés mais déjetés progressivement vers l'extérieur de la chaîne et entraînant de ce fait le déplacement constant de l'axe du géosynclinal; celui-ci de ce fait se complique et finalement est amené à se fermer. Ce phénomène, formulé également en 1916 par ARGAND (loc. cit. p. 176) a été précisé en 1917 par P. ARBENZ (Bibl. 5), puis développé dans la suite par J. CADISCH (Bibl. 22), par M. FRANK (Bibl. 27), ainsi que par divers autres auteurs. On le retrouve dans des publications récentes de W. LEUPOLD pour expliquer les récurrences du faciès flysch à partir de la zone pennique vers les zones ultrahelvétiques pour aboutir finalement au Flysch stampien des régions helvétiques (Bibl. 48, p. 314).

Cette même notion de la migration des géosynclinaux se retrouve pour l'explication de la genèse de diverses autres grandes chaînes. En particulier elle a été

développée pour la chaîne carpathique par MRAZEC. On la retrouve constituant le fondement des ouvrages stratigraphiques de GRABAU.

Valeur et limites de ces notions.

Pour M. BERTRAND et pour la plupart des géologues qui ont dans la suite développé ces notions de la succession des faciès selon un ordre déterminé, l'évolution d'un géosynclinal et la formation des grandes chaînes de montagnes paraissent essentiellement fonction d'une sédimentation puissante, mais qui peut accuser aussi bien des caractères néritiques que bathyaux et abyssaux. Dans la règle cependant on aurait les faciès profonds à la base, les faciès néritiques et même continentaux au sommet, vers la fin de l'orogénèse.

En fait il n'en est pas toujours ainsi. On le constate tout particulièrement bien dans le domaine de la chaîne alpine. Car les formations qui paraissent être les plus profondes, en particulier les radiolarites, n'apparaissent que tardivement dans les séries alpines, le plus souvent en liaison avec des formations géosynclinales. Mais celles-ci ne forment également pas la base des séries épaisses des Alpes et, sauf dans le cas de certaines zones penniques à métamorphisme très intense, on voit les sédiments géosynclinaux du Jurassique et du Crétacé reposer sur un Trias et un Permo-Carbonifère à faciès épicontinental ou parfois nettement lagunaire et continental.

C'est le cas des formations franchement alpines des zones ultra-helvétiques, préalpines et austro-alpines, à Trias continental ou épicontinental surmonté seulement à partir du Lias par des formations géosynclinales, puis par des sédiments du type océanogène. C'est également le cas pour les vastes zones penniques à type différencié: quant au type compréhensif distingué par ARGAND, il reste à savoir s'il s'agit d'un type primitif résultant d'une sédimentation profonde et continue dès le Permo-Carbonifère et non pas, comme on peut aussi le supposer, de la conséquence du métamorphisme d'un Trias pennique primitivement différencié lui aussi.

D'ailleurs, les divers modes sédimentaires décrits précédemment ne sont pas en liaison avec un type déterminé de chaînes de montagnes.

Si certaines grandes chaînes de montagnes offrent un développement particulier des sédiments géosynclinaux et océanogènes, on y observe également des formations épicontinentales et paraliques. D'autre part on trouve des séries géosynclinales et océanogènes dans les chaînes de montagnes modérément disloquées.

C'est par exemple le cas pour le domaine dinarique des Alpes, socle continental simplement plissé et cassé et sur lequel repose un Permo-Werfénien surtout continental et épais, surmonté par un Trias à caractère épicontinental, lequel à son tour supporte une série jurassique et crétacée nettement géosynclinale, avec intercalation vers le Jurassique supérieur de radiolarites.

On peut faire les mêmes constatations avec d'autres chaînes datant des cycles alpins, également avec les chaînes des cycles antérieurs. Remarquons aussi que nulle part on ne constate la localisation d'un type particulier de sédimentation sur un socle représentant plus spécialement un tréfond océanique caractérisé par le sima. En particulier, quelle que soit l'interprétation que l'on veuille donner aux radiolarites, pour prendre le sédiment apparemment le plus abyssal que l'on connaisse, on observe que ces roches ne sont pas liées à un substratum différent de celui qui constitue tous les socles continentaux, à matériel essentiellement sialique. Autrement dit, on ne constate pas dans l'analyse des séries géologiques et de leur tréfond cristallin une différenciation fondamentale dans la nature de ces fonds, contrairement à l'opposition formulée par WEGENER entre les fonds océaniques et les socles continentaux.

ARGAND, il est vrai, propose pour les dépôts de radiolarites du Jurassique alpin l'hypothèse de l'étirement et de l'amincissement du sial sous les géosynclinaux. Ces géosynclinaux résulteraient en quelque sorte d'une distension qui se serait produite dès la fin du Trias dans une plateforme épicontinentale ou même dans un continent formé par les plissements hercyniens et qui aurait abouti vers le Jurassique supérieur à la formation de « fosses ». Ces fosses ne seraient donc pas strictement océaniques, mais « méditerranéennes » (du type des fosses des Antilles actuelles par exemple). Autrement dit, il y aurait deux sortes de « grands fossés » ou de sillons abyssaux⁶⁾, les unes intercontinentales ou méditerranéennes, à tréfond aminci de sial, les autres, océaniques, à substratum de sima (basalte ou dunite). Malheureusement on ne connaît aucun exemple géologique de ce second type.

Le jeu des grandes régions sédimentaires.

Si l'interprétation générale de M. BERTRAND de la succession dans les géosynclinaux de grands types de faciès débutant par les sédiments marins les plus profonds pour aboutir à d'autres nettement néritiques et continentaux n'est que partiellement réalisée, l'idée maîtresse du remplacement progressif d'un type sédimentaire par un autre n'en demeure pas moins. Elle implique pour une région donnée la formation de conditions géographiques absolument nouvelles. En fait on n'assiste pas seulement à la migration des géosynclinaux, mais à celle de toutes les zones sédimentaires. Ces modifications géographiques, qui se traduisent dans les grandes séries géologiques par la substitution progressive de la sédimentation continentale ou épicontinentale par la sédimentation géosynclinale et parfois océanogène, sont généralement ramenées aux jeux des forces orogéniques dont les causes restent encore imprécises. On peut se demander si l'une des causes agissantes n'est pas due à l'action même de la sédimentation.

Car dans l'ensemble on assiste à un double jeu sédimentaire. C'est d'une part celui réalisé à la marge des aires continentales par la sédimentation géosynclinale à laquelle s'associe souvent la sédimentation océanogène. D'autre part il y a le jeu sur les aires continentales elles-mêmes et sur leurs plateformes submergées par la sédimentation paralique, intimement liée à la sédimentation continentale. En effet, à la formation progressive des cordillères et des chaînes de montagnes succède l'accumulation de plus en plus intense d'abord dans les bassins profonds des archipels, puis beaucoup plus considérable encore, le plus souvent, comme on l'a vu, de l'ordre de plusieurs milliers de mètres, celle résultant des dépôts paraliques sur les socles continentaux. Cette accumulation, soumise plus que les autres aux phénomènes de subsidence encore récemment étudiés par PRUVOST (Bibl. 55), implique des affaissements progressifs généralement équivalents à ceux de l'accumulation: car autrement on ne saurait s'expliquer le maintien de faciès marins peu profonds ou continentaux sur 3000—5000 et même 10000 m et plus encore de sédiments (Old red sandstone, Molasse périalpine, etc.). On peut se demander jusqu'à quel point il y a relation entre ce phénomène de grande subsidence d'abord dans certaines séries géosynclinales, mais plus encore dans les séries paraliques et l'émersion progressive des cordillères insulaires et continentales. Pour prendre un exemple précis, on peut se demander si le dernier paroxysme, dans le domaine des Alpes, à la fin du Néogène, d'ailleurs précédé de quantité de mouvements dans la région molassique même et qu'on perçoit de mieux en

⁶⁾ Comme le fait remarquer avec raison WEGENER (Bibl. 75, p. 203), le terme de « fossés » appliqué aux régions océaniques formant des zones relativement allongées et étroites et dépassant 5000 à 6000 m de profondeur est assez impropre et peut être remplacé avec avantage par celui de « sillons abyssaux », qui écarte toute confusion avec les fosses ou fossés des socles continentaux qui résultent de mouvements d'affaissement entre des systèmes de failles et ainsi ne préjuge en rien quant à l'origine des profondes dépressions océaniques.

mieux, n'est pas en relation indirecte avec la subsidence continue du bassin molassique durant le Neogène, aboutissant finalement à la remise en mouvement de la chaîne alpine oligocène et aux plissements et aux dislocations de la Molasse et de la région jurassique.

Quant aux mouvements des plateformes épicontinentales, ils paraissent accessoires vis-à-vis des précédents et correspondre plutôt à des oscillations dépendant des jeux alternatifs des autres types sédimentaires. Ils représenteraient en quelque sorte le jeu intermédiaire et compensateur entre l'émergence progressive des grandes chaînes de montagnes et l'affaissement correspondant des socles continentaux sous la charge des sédiments paraliques.

Car on est, en fin de compte, conduit à nouveau aux jeux isostasiques résultant de l'érosion et de la sédimentation et qui se traduisent en profondeur vraisemblablement par l'intermédiaire des sous-courants magmatiques, dans le sens donné dès 1893 par BAILEY WILLIS. Pour ARGAND les jeux isostasiques conditionnés par les agents externes seraient accessoires (Bibl. 8, p. 273). Ils le sont certainement dans quelques cas, tel que celui qui résulte de la surcharge des continents par les inlandeis et de la décharge qui résulte de la fonte des grands glaciers. On ne peut par contre guère les considérer comme accessoires dans la surcharge des socles continentaux sous une épaisseur de plusieurs milliers de mètres de sédiments répartis sur d'immenses surfaces.

Que les mouvements tectoniques par l'empilement de plis couchés et de nappes participent eux aussi aux jeux isostasiques, cela est évident. Mais on peut se demander dans ce dernier cas s'il ne s'agit pas de conséquences dues à des conditions isostasiques particulièrement troublées par les phénomènes d'érosion et de sédimentation.

Nous voilà très loin, peut-être trop loin de l'analyse des séries géologiques au moyen de la sédimentation des mers actuelles et de leur caractères géographiques. Mais l'analogie des conditions sédimentaires actuelles avec celles des périodes géologiques entraîne en quelque sorte certaines conclusions d'ordre tectonique. D'ailleurs de plus en plus on retrouve cette interdépendance entre la stratigraphie et la tectonique qui rend l'étude des phénomènes géologiques si passionnante, mais parfois un peu déconcertante en ce sens que les causes et les effets se confondent si intimement que l'esprit se perd à vouloir les séparer trop nettement.

Bibliographie.

1. ABENDANON, E. C. Midden-Celebes Expeditie, I—IV, Leiden 1915—1918.
2. ANDRÉE, K. Geologie des Meeresbodens, Bd. 2. Leipzig 1920.
3. ANDRÉE, K. Das Meer, dans: Salomon, Lehrbuch der Geologie, Bd. I, p. 361—424. Stuttgart 1924.
4. ANDRÉE, K. Rezente und fossile Sedimente. Geol. Rundschau, Bd. 29, p. 147—167, 1938.
5. ARBENZ, P. Probleme der Sedimentation und ihre Beziehungen zur Gebirgsbildung in den Alpen. Heim-Festschrift, Viertelj. Naturf. Ges. Zürich, LXIV, 1919.
6. ARGAND, E. Sur l'arc des Alpes occidentales. Eclogae geol. Helv. 14, p. 145—191, 1916.
7. ARGAND, E. Plissements précurseurs et plissements tardifs des chaînes de montagnes. Actes Soc. helv. Sc. natur., 101ème session, p. 13—39. Neuchâtel 1921.
8. ARGAND, E. La tectonique de l'Asie. Congr. géol. intern. C. R. de la XIIIe session, p. 171 à 372. Bruxelles 1924.
9. ARLDT, TH. Handbuch der Palaeogeographie. Leipzig 1919.
10. ARLDT, TH. Die Entwicklung der Kontinente und ihrer Lebewelt, 1. Bd. Berlin 1936.
11. BERTRAND, L. La notion de faciès en géologie. Revue du mois, 1910.