

Interprétation géologique des dépôts néogènes et actuels de l'Insulinde et de l'Amérique centrale

Objekttyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

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

Heft 1

PDF erstellt am: **18.09.2024**

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.

mesure que dans l'archipel de la Sonde, on assiste au développement modéré de formations propres à de petites plaines maritimes (groupe d'Artibonite à Haïti et séries de Yaque et du Cerros del Sal à St-Domingue, etc.).

C. Interprétation géologique des dépôts néogènes et actuels de l'Insulinde et de l'Amérique centrale.

Si l'on essaie maintenant de qualifier les modes divers de sédimentation des dépôts tertiaires, quaternaires et actuels de l'Insulinde et de l'Amérique centrale au moyen des termes courants employés en géologie pour les faciès marins, on se heurte à quantités de difficultés. Ces difficultés sont d'origine diverse, mais comme je l'ai dit au début, elles proviennent de deux causes essentielles: d'une part de la divergence des définitions entre géologues et géographes quant à la bathymétrie et à la sédimentation des mers actuelles et anciennes, d'autre part d'une classification trop sommaire dans l'interprétation géologique des sédiments marins, soit sous leur forme locale de sédiments néritiques, bathyaux et abyssaux, soit dans leur distribution paléogéographique en tant que formations géosynclinales et épicontinentales.

I. Cas des faciès néritiques, bathyaux et abyssaux.

1. Les dépôts néritiques et les plateformes continentales.

Faciès néritiques et dépôts littoraux.

Le terme de faciès ou dépôt néritique est communément employé par les géologues, plus rarement par les géographes qui utilisent généralement celui de littoral. Mais ce terme de littoral prête à confusion car il a été parfois envisagé dans un sens restreint, pour sous-entendre les dépôts accumulés au voisinage immédiat des rivages comme les sables de plages, les blocs et les galets des falaises. Il équivaut dans ce cas à ce qu'on nomme plus fréquemment les dépôts côtiers ou dépôts « franchement littoraux » d'E. HAUG (Bibl. 32, p. 149). C'est aussi dans un sens analogue que TWENHOFEL l'utilise (Bibl. 71), ce qui le conduit à unir en outre aux dépôts littoraux les accumulations dues aux deltas marins, aux lagunes marginales et aux estuaires. On a de la sorte une catégorie de dépôts mixtes, partiellement marins, partiellement continentaux ou saumâtres.

Cependant la plupart des géographes donnent aux dépôts littoraux une extension horizontale beaucoup plus vaste et les assimilent à l'ensemble des dépôts des mers peu profondes, quelle que soit leur distance par rapport aux rivages. C'est le cas de la classification classique de MURRAY et RENARD, émise en 1891 et qu'on retrouve, soumise à certaines modifications et précisions, dans les classifications ultérieures de KRÜMMEL (Bibl. 40), de PHILIPPI, de ANDRÉE (Bibl. 2 et 3) et jusque dans une certaine mesure dans celle de EM. KAYSER (Bibl. 36).

Prise dans ce sens extensif, la notion actuelle de dépôts littoraux équivaut à la définition du faciès néritique introduite par E. HAUG qui range sous ce nom l'ensemble des dépôts effectués durant les périodes géologiques dans les mers ne dépassant pas en moyenne une profondeur de 200 m. Il faut cependant noter que tandis que les géographes n'insistent guère sur les conditions biologiques des dépôts, les caractères paléontologiques jouent un rôle en général considérable dans la notion de faciès.

Caractères du faciès néritique selon Haug.

En effet HAUG a précisé les caractères du faciès néritique non seulement du point de vue bathymétrique, mais également en ce qui concerne les conditions lithologiques et paléontologiques de ce premier type de dépôt. Pour lui, les formations néritiques constituées dans la zone supérieure ou côtière sont en général faites de matériaux assez grossiers, brèches, conglomérats et grès divers, avec accessoirement des roches plus fines, dans la zone inférieure ou zone de la plateforme proprement dite, de grès fins, de marnes et de vases. A ces roches essentiellement détritiques s'associent des calcaires organogènes ainsi que quelques sédiments plus spéciaux et à localisation restreinte, roches phosphatées, bonebeds. Ce faciès est en outre caractérisé par une extrême richesse en fossiles qui lui a valu précisément le qualificatif de néritique introduit par HAUG (Bibl. 32, p. 149 à 152). Dans l'ensemble également, les formations néritiques offrent des épaisseurs restreintes et présentent des variations extrêmes dans le détail. Enfin elles sont localisées le plus souvent dans les régions peu disloquées (loc. cit. p. 157—158).

Critique de l'interprétation de Haug.

Caractère tectonique des formations néritiques. — On connaît trop d'exemples de séries géologiques à faciès néritique intensément disloquées pour insister sur la valeur restreinte du caractère tectonique envisagé par HAUG. En fait il ne s'applique qu'à la catégorie des dépôts effectués sur certaines plateformes épicontinentales que nous verrons dans la suite avec plus de détails.

Variabilité ou constance des faciès néritiques. — L'extrême variabilité des faciès néritiques n'est également pas un critère particulier à la totalité de ces dépôts. Elle n'est en fait réalisée qu'au voisinage immédiat des rivages, pour autant encore qu'il s'agit de régions à côtes rocheuses et découpées. Par contre, dès que la plateforme continentale accuse une certaine largeur, la sédimentation néritique peut témoigner d'une constance très marquée et qui se traduit presque toujours sous deux formes bien distinctes.

a) *Cas des boues pélagiques.* — Pour HAUG, les sédiments vaseux, notamment les boues terrigènes, forment les roches caractéristiques du faciès bathyal, résultant donc d'accumulations à des profondeurs marines dépassant sensiblement l'isobathe de 200 m (Bibl. 32, p. 152). Or, en fait, ceci est loin d'être la règle et la sédimentation qui règne sur les plateformes de la Sonde et du N du golfe du Mexique, montre au contraire une extension énorme des vases franchement terrigènes dans le domaine néritique et qui s'étend même à toute la zone côtière. Une pareille sédimentation néritique domine d'ailleurs sur l'ensemble des plateformes en marge de côtes basses, alimentées par des fleuves originaires de chaînes de montagnes situées à l'intérieur des terres. C'est ainsi que le gros des dépôts charriés par l'Amazone, l'Orénoque et le Rio de la Plata pour l'Amérique, le Gange, l'Indus, le Hoangho, le Yangtsekiang et les autres grands fleuves asiatiques, en Europe le Rhin et les divers fleuves qui se jettent dans la mer Baltique, la Loire et la Garonne, amène à la côte un matériel semblable et qui se dépose en majeure partie sur le domaine des plateformes bordières et non au delà. Aussi, avec raison, M. GIGNOUX a insisté sur l'ubiquité de ces roches pélagiques qu'on ne peut attribuer à un seul type de faciès (Bibl. 28, p. 8—9). Pour de tels dépôts, le seul argument décisif est fourni par les caractères de la faune et les conditions géographiques de sédimentation. Nous aurons l'occasion d'y revenir en parlant des faciès bathyaux et abyssaux.

b) *Cas des roches organogènes.* — Sur les plateformes larges et soumises à un faible alluvionnement, la sédimentation est essentiellement représentée par des dépôts d'origine organique. Le type le plus commun est celui des formations récifales. Or, comme nous l'avons vu plus spécialement pour l'Insulinde, ces formations ont parfois un caractère local, à faible extension horizontale, mais souvent elles constituent au contraire des récifs couvrant d'immenses surfaces. Dans ce dernier cas, les variations de faciès sont réduites. Cette constance de sédimentation peut prendre des dimensions considérables, comme c'est le cas des immenses zones récifales de la Nouvelle-Calédonie et de la grande barrière d'Australie.

De pareilles constances de faciès se manifestent aussi sur les plateformes à accumulations de boues et de vases à Globigérines. Cette autre forme de dépôt organogène se rencontre également au voisinage des plateformes précédemment citées.

L'épaisseur des formations néritiques. — La faible épaisseur des dépôts néritiques ne s'observe que dans un cas particulier, celui de la sédimentation réalisée sur ce qu'on appelle les plateformes épicontinentales, sur lesquelles je reviendrai tout à l'heure. Cette condition paraît avoir été celle qui a régné durant tout le Néogène sur les plateformes du Sahoul, du Yucatan et de la Floride et nous avons vu qu'elle semble se poursuivre avec les mêmes caractères actuellement.

Mais à côté de ce type néritique peu puissant, qui cependant peut se chiffrer par une épaisseur totale de 1000 à 2000 m, bien que restant souvent sensiblement en dessous de ces chiffres, on connaît quantité de formations néritiques accusant des épaisseurs énormes, 4000 m, 8000 m et dans certains cas plus de 10 000 m. On a vu ce phénomène se produire dans le Tertiaire supérieur de la plateforme de la Sonde et dans le N du golfe du Mexique. Egalement, dans ces mêmes domaines se poursuivent aujourd'hui des conditions d'accumulations analogues. Remarquons aussi dès maintenant qu'une bonne partie des formations dites « géosynclinales » et qui seront plus loin l'objet d'un examen détaillé, offrent des faciès essentiellement néritiques en ce qui concerne leurs dépôts marins.

Plateformes continentales et sédimentation néritique.

Géologues et géographes sont d'accord pour n'attribuer à la notion de plateau ou plateforme continentale (Flachsee ou Kontinentalsockel des Allemands, Shelf des auteurs anglais) qu'un caractère purement morphologique, et plus exactement encore, d'ordre essentiellement bathymétrique. Car elle est définie non point par les dépôts qui s'y effectuent, ni par sa morphologie qui peut être assez accidentée comme le témoignent de plus en plus les travaux de détails réalisant le levé exact de son relief, mais par la faible profondeur des eaux marines qui la recouvrent. Si sa distribution verticale dans le domaine marin se trouve ainsi nettement définie, son extension horizontale est extrêmement variable, puisque réduite parfois à quelques dizaines de mètres le long de côtes abruptes et montagneuses, on la voit s'étendre sur des centaines de km en bordure de certaines aires continentales. Cette dissymétrie du relief terrestre, sur laquelle A. DE LAPPARENT a tout spécialement insisté et qui amène les zones de grandes profondeurs au voisinage des grands reliefs continentaux et prolonge les aires continentales aplanies par de vastes plateformes submergées, est trop connue pour qu'il soit nécessaire d'y insister ici. Elle comporte d'ailleurs bien des exceptions dont la plus sérieuse est fournie par

la masse continentale africaine, à plateforme submergée de faible extension malgré le relief souvent assez marqué des régions côtières: il est vrai qu'il ne s'agit pas de chaînes bordières mais de reliefs résultant du soulèvement d'anciens socles continentaux. Je ne m'arrêterai pas non plus sur le mode de formation de cette plateforme. Cette question a été d'ailleurs récemment reprise par J. NOVAK et tout dernièrement par E. BOURCART (Bibl. 16) qui la traite en liaison avec le phénomène très complexe des régressions et des transgressions marines. Ce qui nous retiendra pour l'instant, c'est donc moins l'origine et l'aspect morphologique des plateformes continentales que la nature des dépôts qui s'y accumulent.

Or, du point de vue sédimentaire, le faciès néritique apparaîtra avec des caractères profondément différents selon qu'il s'agit de plateformes larges ou étroites et suivant les conditions morphologiques et climatiques des terres qui les environnent. C'est ainsi que dans les domaines de l'Insulinde et de l'Amérique centrale, et, avec certaines restrictions, sur la plupart des côtes des continents, on peut ramener à trois types principaux la sédimentation néritique actuelle et passée.

1) *Sédimentation néritique des plateformes paraliques.* Le type est réalisé sur la plateforme de la Sonde et sur celle de la Gulf Coast. Comme nous l'avons vu, il est caractérisé par un apport terrigène abondant, généralement très uniforme, aboutissant à des dépôts de très grandes épaisseurs. Ces formations néritiques sont toujours intimement liées à des dépôts saumâtres et continentaux, accompagnés très souvent de lits de charbons formés dans des plaines maritimes boisées. On peut qualifier de paralique ce type de plateforme à sédimentation foncièrement alluviale.

2) *Sédimentation néritique des plateformes épicontinentales.* Il s'agit également de dépôts effectués sur des plateformes en général assez vastes, soit intercontinentales, soit péricontinentales, mais soumises essentiellement à une sédimentation franchement marine caractérisée surtout par des calcaires, des marnes et des schistes calcaires à teneur assez faible et parfois tout à fait réduite en matériaux terrigènes. C'est à ce type que se rapporte la sédimentation actuelle de la plateforme du Sahoul et, dans l'Amérique centrale, de celles du Yucatan et de la Floride-Bahama. Les caractères généraux attribués par HAUG à l'ensemble des faciès néritiques ne valent, et encore jusqu'à un certain point, que pour cette catégorie.

3) *Sédimentation néritique des plateformes marginales.* Par contre les étroites plateformes continentales, réduites le plus souvent à quelques centaines de mètres ou à quelques km de largeur et qui ceinturent les régions montagneuses en bordure du domaine marin, plateformes que l'on peut qualifier de marginales, sont soumises à des conditions toutes différentes, en ce sens qu'au lieu de présenter des caractères plus ou moins francs, soit terrigènes, soit organogènes, elles offrent une intrication constante des types précédents. En outre la sédimentation d'origine terrigène accuse presque toujours des caractères plus grossiers, la sédimentation organogène une distribution moins régulière et moins étendue. D'autre part, et c'est là une différence essentielle, ces dépôts néritiques passent souvent très brusquement à des faciès plus profonds propres au talus maritime de sorte que l'on assiste, en plus de modifications extrêmes dans les régions côtières, à une intrication particulière vers le large. L'épaisseur de tels dépôts est toujours sujette à de grandes variations, mais, en règle générale, elle dépasse celle des plateformes épicontinentales et reste en dessous de celle des plateformes paraliques.

C'est à ce type que se rattache l'ensemble des dépôts néritiques accumulés sur les plateformes de l'archipel des Moluques et sur les rivages océaniques de l'Insulinde. Dans l'Amérique centrale on le retrouve dans les Antilles et sur les côtes pacifiques.

Entre ces trois types fondamentaux s'intercale quantité de passages et d'intermédiaires. C'est ainsi que la plateforme du Sahoul, essentiellement épicontinentale, montre dans la partie méridionale de la Nouvelle-Guinée un développement considérable du type paralique. D'autre part, la région des Moluques avec ses plateformes marginales est reliée à la plateforme de la Sonde par une plateforme épicontinentale fortement submergée qui couvre tout l'espace entre le SW de Célèbes et la mer de Bali et dont la condition bathymétrique, marquée par les fonds ne dépassant pas 200 m, n'est maintenue que sur le pourtour des îles coralliennes des Paternoster, Postiljon et des bancs de Laars et Katoe Kaloekoeang. On observe des passages semblables dans les Antilles et les aires continentales S- et N-américaines.

2. Les dépôts bathyaux et le talus maritime.

Les formations bathyales selon Haug.

Caractères bathymétriques. HAUG a établi (Bibl. 32, p. 89) une division très spéciale des fonds marins en se basant non plus sur leurs caractères purement morphologiques, mais en combinant ces caractères avec la distribution géographique des êtres marins, elle-même résultant de conditions physiques du milieu. Pour les régions qu'il qualifie de bathyales, il a retenu tout particulièrement certaines conditions de température établies par JOH. WALTHER (Bibl. 72, III, p. 860 et 866) et qui s'étendraient jusqu'aux profondeurs de 900 m, ou en chiffres ronds à 1000 m.

Caractères lithologiques. — Dans les limites bathymétriques ainsi fixées entre 200 et 1000 m de profondeur, se déposent des formations surtout vaseuses, à prédominance de boues terrigènes, avec accessoirement des grès fins, des argiles et des calcaires, le tout n'offrant que de faibles variations de faciès (Bibl. 32, p. 152). C'est par de tels dépôts que serait représentée la majeure partie des formations marines (loc. cit. p. 157—158).

Puissance et caractères tectoniques. — Enfin, pour HAUG, le maximum de puissance des sédiments marins est réalisé avec ces formations. On retrouve cette interprétation abondamment développée dans son « Traité des formations géologiques » (Bibl. 33): ces séries bathyales à « épaisseurs immenses » sont presque toujours homologuées avec les séries géosynclinales. Enfin, ce type de faciès, à l'opposé du faciès néritique, se rencontre principalement dans les régions très disloquées.

Critique de l'interprétation de Haug.

Extension bathymétrique. — La limite inférieure de 1000 m fixée par HAUG ne se justifie plus guère aujourd'hui. L'argument d'ordre physique invoqué pour légitimer cette limite et basé, comme on l'a vu précédemment, sur la répartition des températures en profondeur, apparaît et à la suite d'études récentes comme un phénomène complexe soumis à des différences considérables selon les latitudes et à l'influence de divers courants profonds circulant dans les mers et les océans (Bibl. 67, I, p. 328 et sv.). On ne peut de même guère utiliser les autres caractères physiques ou biologiques pour établir une bathymétrie générale des fonds marins à cause de multiples modifications locales auxquelles ces caractères sont soumis.

Ce n'est d'ailleurs pas sur de tels caractères qu'on interprète généralement les conditions réglant le faciès bathyal. Pour la plupart des géologues, ce faciès correspond aux dépôts effectués sur l'ensemble du talus continental considéré dans son acception morphologique et non sur une portion limitée de ce talus soumise

à certaines conditions de température ou de dispersion des êtres marins. Or, dans son sens morphologique, le talus maritime représente un élément du relief marin caractérisé par sa pente, presque toujours mieux marquée que dans les domaines de la plateforme continentale et des fonds abyssaux (Bibl. 67, I, p. 272) et qui se poursuit, sauf rares exceptions, bien au delà de l'isobathe de 1000 m. Ceci apparaît de façon évidente aussi bien sur les cartes bathymétriques des mers à archipels (archipel des Moluques, mer Caraïbe) que sur celles des grands océans, où l'on voit partout le talus maritime passer tantôt brusquement, tantôt graduellement à la région des fonds abyssaux à des profondeurs qui se tiennent presque toujours autour de 2000 à 3000 m. C'est d'ailleurs toujours avec des chiffres semblables que les océanographes l'interprètent, les uns fixant sa limite inférieure à 2000 m, les autres à 3000 m. Ces chiffres moyens sont d'ailleurs indirectement confirmés par la courbe hypsographique de la terre et des divers océans (Bibl. 67, I, p. 72—73; 50, p. 79—80).

Caractères lithologiques. — Nous avons déjà vu précédemment qu'une bonne partie des boues terrigènes considérées par HAUG comme l'élément caractéristique du faciès bathyal appartiennent incontestablement encore à la région néritique. D'autre part, surtout dans les régions marines soumises à un alluvionnement puissant et pourvues d'une plateforme de faible extension horizontale, des quantités considérables de boues pélagiques vont s'accumuler sur le talus maritime. Il devient de ce fait souvent très difficile de préciser le faciès de ces dépôts. Toutefois le plus souvent les boues terrigènes déposées au delà de la plateforme seront plus riches en restes organiques du plancton que celles de la plateforme elle-même. On cite il est vrai dans les séries géologiques de nombreuses formations à Globigérines déposées sur les plateformes et le cas de la Craie, jadis homologuée avec les boues profondes à Globigérines, semble bien correspondre dans l'ensemble à une formation de mer relativement peu profonde. Ce cas paraît toutefois correspondre non à une règle générale, mais à des conditions très spéciales de dépôts. Dans l'ensemble et contrairement à la tendance actuelle qui règne chez la plupart des stratigraphes, la majeure partie des boues et des vases à Globigérines, pour ne citer que les formations les plus communes, dépendent bien plus du faciès bathyal et même, comme nous l'avons vu, parfois du faciès abyssal, que du faciès strictement néritique.

Car si l'on interprète géologiquement la répartition actuelle des boues terrigènes dans les mers de l'Insulinde, on constate que sur la plateforme de la Sonde elles restent exclusivement néritiques et sont caractérisées par une faible teneur en dépôts planctoniques, que sur la plateforme du Sahoul, elles sont également néritiques, mais peu abondantes et fortement mélangées à des vases organogènes, mais qu'enfin dans tout l'archipel des Moluques et sur toutes les côtes océaniques où elles sont très abondantes, on les voit se déposer en majeure partie sur les talus maritimes et jusque sur les fonds abyssaux, en association avec des quantités variables de boues à microorganismes. Je rappelle le cas de la mer de Sulu, avec ses fonds de 4000 et 5000 m, recouverts entièrement par des vases à Globigérines. Comme je l'ai également montré, les conditions sédimentaires actuelles de l'Insulinde se retrouvent dès le Tertiaire, du moins dans leurs traits généraux. En ce qui concerne l'archipel des Moluques, il semble bien qu'une grande partie des schistes et des marnes à Globigérines des séries tertiaires doivent être considérées comme les équivalents bathymétriques des vases terrigènes et planctoniques qui aujourd'hui encore continuent à s'accumuler dans les bassins profonds de ce domaine.

Tout conduit également à admettre qu'il en est de même pour la sédimentation actuelle et tertiaire des Antilles. Ici aussi s'accumulent actuellement sur les talus maritimes des dépôts bathyaux formés essentiellement du mélange en proportion variable de boues terrigènes et de vases organogènes, et de tels dépôts trouvent leurs équivalents géologiques, durant le Tertiaire, dans les schistes et calcaires à Globigérines et à autres microforaminifères.

Cas des dépôts gréseux d'origine bathyale. — En général on attribue presque sans exception les formations gréseuses au faciès néritique. Ceci est certainement exact en ce qui concerne tous les grès grossiers et la majeure partie des grès fins qui ne peuvent guère dépasser, sauf très rares exceptions, le domaine des plateformes. Toutefois, là où cette plateforme est très étroite et se trouve soumise à un alluvionnement puissant par des rivières à fortes pentes, comme c'est le cas dans de nombreuses portions côtières de l'Insulinde et d'autres régions, une partie des sables fins va dépasser la plateforme marginale et s'accumuler sur les talus maritimes. Dans ce cas il est bien des complexes gréseux qui doivent être rattachés à des formations bathyales.

L'épaisseur des dépôts bathyaux. — Ici également l'interprétation de HAUG de la grande épaisseur des dépôts bathyaux demande à être révisée. En règle générale on peut même dire que les faciès néritiques offrent des épaisseurs beaucoup plus grandes que les faciès bathyaux. Ceci est fort compréhensible. Car si le domaine marin est bien le domaine final de toute sédimentation — la sédimentation continentale n'ayant en général qu'une valeur restreinte et ne représentant presque toujours qu'un stade vers la sédimentation marine —, il n'en demeure pas moins que la plus grande partie de la sédimentation marine résulte des apports fournis par l'érosion continentale et la dénudation. Sauf rares exceptions, les apports détritiques grossiers, ayant formé dans la suite des brèches, des conglomérats et des grès grossiers, demeurent sur les plateformes continentales. De même si cette plateforme est suffisamment large — et il suffit pour cela de quelques dizaines de km —, la majeure partie des limons se déposera aussi sur le domaine néritique. Ce n'est que dans le cas des plateformes marginales qu'une partie du matériel terrigène va participer de façon appréciable à la sédimentation s'effectuant sur le talus maritime et sur celle des fonds océaniques. Mais même dans ce cas, ces dépôts bathyaux d'origine terrigène, dispersés sur les vastes surfaces du talus et des fonds marins, demeureront moins épais que les dépôts néritiques qui les encadrent. Ils pourront par contre offrir une puissance plus grande que certains dépôts néritiques de plateformes épiconinentales.

3. Les formations abyssales et les fonds océaniques.

Extension des fonds abyssaux.

Dans l'archipel des Moluques, le seul domaine de l'Insulinde où les fonds abyssaux jouent un rôle important, si l'on excepte les rivages océaniques, l'extension de ces fonds dépasse le 50% de la surface totale des fonds marins, si l'on admet comme limite supérieure l'isobathe de 2000 m. Ce chiffre, tout considérable qu'il soit, demeure cependant bien inférieur aux moyennes fournies par la surface totale des océans, où l'extension de la région abyssale est estimée par PENCK et MURRAY à 82,3%, le reste étant constitué par 10,6% pour le talus maritime et 7,1% seulement pour la plateforme continentale. Une certaine réduction, toutefois limitée, intervient si l'on fixe la base du talus maritime à l'isobathe de 3000 m: dans ce cas, la région abyssale formerait le 73,7% de la surface des océans, le talus maritime le 19,2% (Bibl. 67, I, p. 73).

Les dépôts abyssaux actuels et leurs équivalents géologiques.

Ainsi donc, quelles que soient les limites bathymétriques adoptées, il n'en reste pas moins que les dépôts océaniques couvrent la majeure partie du fond

actuelle des océans. C'est le cas pour une partie des sédiments hémipélagiques des auteurs allemands et pour l'ensemble des dépôts eupélagiques. Quant à la nature et à l'extension géographique actuelle des diverses catégories de dépôts océaniques (boue à Globigérines, boue à Radiolaires, vases à Diatomées, argile rouge), elle est loin d'être précisée malgré des contributions récentes: elle ne peut d'ailleurs nous retenir ici. Mais il importe de noter dès maintenant la participation considérable des dépôts calcaires, plus spécialement des vases à Globigérines et à Ptéropodes dans la couverture actuelle des fonds abyssaux. Comme on le sait, une réduction importante des dépôts calcaires dans les grands océans n'intervient qu'à partir d'environ 4000 à 5000 m (voir en particulier dans Bibl. 67, I, p. 280—281)³.

Or pour HAUG et pour la plupart des géologues, les seuls équivalents géologiques des dépôts abyssaux actuels seraient représentés par les radiolarites⁴). Certains géologues y ajoutent encore quelques sédiments peu fréquents, abyssopelites et certaines roches à manganèse qui correspondraient probablement aux argiles rouges et aux concrétions qui s'observent dans les fonds abyssaux.

On sait combien l'interprétation abyssale des radiolarites, introduite tout d'abord par F. WÄHNER en 1892, puis développée par G. STEINMANN dans diverses publications, a soulevé de discussions parmi les géologues, soit pour le domaine plus spécialement alpin (R. STAUB, CORNELIUS, CADISCH, etc.), soit pour l'Insulinde (MOLENGRAAFF, WANNER, SCRIVENOR, RUTTEN, etc.), soit pour l'ensemble des formations géologiques (ANDRÉE, RUEDEMANN, DACQUÉ, etc.) (voir Bibl. 10, p. 7). Alors que quelques géologues ont refusé de voir en ces sédiments les traces de roches sédimentaires d'origine abyssale (W. SÖRGEL, Bibl. 61, p. 8—10), d'autres ont admis des conditions variables de bathymétrie à cause de l'association de ces roches avec des formations à faciès peu profonds (J. DE LAPPARENT, Bibl. 45, p. 323; TWENHOFEL, Bibl. 71, p. 518 à 519). Cependant, malgré certaines objections sérieuses, il semble bien qu'il faille admettre pour la majeure partie des radiolarites une origine abyssale. En particulier, les arguments développés par RUTTEN (Bibl. 57, p. 266), sans être absolument décisifs, comme cet auteur le reconnaît lui-même, ont cependant une valeur indéniable et qui légitime l'attribution par la majorité des géologues de ces roches au faciès abyssal. Même WEGENER, peu enclin à admettre l'existence de sédiments autres que ceux des faciès néritiques, les considère comme des accumulations de mers profondes de 4 à 5 km (Bibl. 75, p. 12).

Il faut également noter la présence des radiolarites d'une part avec des sédiments toujours franchement marins et accusant le plus souvent des faciès profonds (type de sédimentation géosynclinale que nous verrons plus loin), d'autre part leur association très fréquente avec des roches basiques homologuées aux roches volcaniques qui caractérisent l'activité orogénique de certains fonds océaniques actuels.

Dans les Alpes les radiolarites et certains calcaires qui les accompagnent souvent et qui datent essentiellement du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur sont encadrés toujours par des dépôts franchement marins. Il en est de même dans l'Insulinde, à Bornéo en particulier, où ils sont un élément caractéristique de la formation de Danau: il semble en être également de même à Java, à Sumatra, à Célèbes et dans diverses autres îles des Moluques. A Barbados et à Trinidad, les terres à Radiolaires, d'âge miocène, accusant jusqu'à 40 m d'épaisseur, sont en liaison avec des calcaires à Foraminifères et des marnes à Globigérines.

³) On trouvera également dans les travaux de WATTENBERG et de TIMMERMANN des données plus récentes concernant les dépôts calcaires des mers et des océans.

⁴) Il faudrait évidemment distinguer les « roches à Radiolaires », où les Radiolaires se trouvent mélangés à des éléments calcaires ou autres, et les « radiolarites », où les Radiolaires constituent à eux seuls la roche. La présence « exclusive » des Radiolaires a une toute autre signification: elle indique que tous les autres éléments du plancton, Globigérines, Ptéropodes, etc., ont disparu. Est-ce une pure question de profondeur, c'est possible et même probable. Malheureusement il est souvent difficile de savoir si les auteurs qui signalent les roches à Radiolaires entendent l'un ou l'autre type.

Dans l'Insulinde comme dans les Alpes, de même dans les Apennins, dans la Ligurie, en Toscane, dans l'île d'Elbe, en Californie, etc., ces roches dont l'âge est très variable, sont presque toujours accompagnées de coulées volcaniques basiques.

On constate enfin des conditions sédimentaires analogues pour les radiolarites du Paléozoïque (schistes à Radiolaires du Dévonien et du Carbonifère inférieur des Vosges, de l'Ardenne et de l'Angleterre, etc.).

Sédiments abyssaux des régions d'archipels.

Mais à côté des radiolarites qui semblent correspondre tout particulièrement à des dépôts propres aux fonds océaniques largement ouverts, il en est d'autres accusant des caractères moins francs. Au lieu d'organismes siliceux, ces sédiments offrent encore soit une teneur considérable en calcaire, soit un pourcentage important en matériel terrigène très fin. Or de telles roches peuvent aussi provenir de zones marines très profondes, pour autant que ces zones soient situées dans des conditions géographiques particulières. De telles conditions paraissent être réalisées tout spécialement dans le domaine des archipels qui bordent certains océans.

C'est bien ce qui semble résulter si l'on se rapporte à la sédimentation actuelle des régions abyssales de l'archipel des Moluques. Car, comme on l'a vu, malgré l'extension de ces régions qui forment plus du 50% de la surface totale des bassins de l'archipel, on ne connaît aucun dépôt susceptible d'être rapporté aux radiolarites. Par contre on y observe tantôt des formations franchement calcaires, telles que les vases à Globigérines qui tapissent le fond de la mer de Sulu, tantôt des formations argileuses, mais sans radiolaires (mer de Célèbes), tantôt aussi des dépôts mixtes, partiellement calcaires, partiellement argileux, du type de certaines boues bleues continentales.

Autrement dit, le faciès abyssal ne témoigne d'un caractère franc que dans le domaine des grands océans. Par contre, dans les régions abyssales des domaines marins du type méditerranéen ou des mers bordières, la sédimentation abyssale paraît revêtir des faciès divers, qui pratiquement ne sont guère susceptibles d'une différenciation vis-à-vis des dépôts bathyaux qui les environnent. Selon l'étendue, la topographie et le climat des terres qui circonscrivent ces bassins profonds, le même sédiment peut provenir de profondeurs variées, le caractère bathymétrique du bassin ne jouant dans ce cas qu'un rôle accessoire. Or tout indique qu'il a dû en être de même durant les périodes géologiques.

II. Cas des géosynclinaux et des mers épicontinentales.

1. Les géosynclinaux et leur interprétation.

Tout le monde s'accorde aujourd'hui pour convenir que la notion du géosynclinal, soumise à de multiples interprétations, est d'un emploi difficile et prête à quantité de confusions. Aussi certains géologues ont employé comme à regret ce terme, d'autres l'ont même évité.

ED. SUESS s'excuse à la fin de « La Face de la Terre » d'avoir utilisé le mot de géosynclinal au début de son grand ouvrage, précisément à cause du sens trop divers donné à ce mot (Bibl. 66, III, p. 1618). Il en est de même pour ALB. HEIM qui, devant l'imprécision de cette notion employée par de multiples auteurs pour expliquer la formation des chaînes de montagnes, et plus spécialement des chaînes alpines, en fait pour ainsi dire totalement abstraction dans sa « Geologie der Schweiz » (Bibl. 34, II, p. 871).

Mais dans une étude générale telle que celle entreprise ici, on ne peut faire abstraction de ce terme et de ses équivalents, avant-fosses, séries géosynclinales, bassins de subsidence, etc. En se basant sur la conception fondamentale de HALL et de DANA, on peut retenir les notions suivantes comme particulièrement caractéristiques d'un géosynclinal:

a) L'existence d'une épaisseur considérable de dépôts, se chiffrant par plusieurs milliers de mètres.

b) Un caractère essentiellement marin pour la majeure partie de ces dépôts.

c) La participation tout à fait prépondérante de telles séries dans la constitution des grandes chaînes de montagnes.

J'ai tenté de grouper les multiples interprétations subies par cette notion de géosynclinal en partant de ces trois caractères, développés d'ailleurs bien différemment dans la suite, m'efforçant de ne pas trahir ou modifier le sens donné à ce mot par un certain nombre d'auteurs. C'est une tâche peu aisée et sans doute partiellement réalisée seulement, du moins sous la forme restreinte qui convient à un article.

Interprétation océanique ou marine des géosynclinaux.

Cas général. — Pour DANA, un géosynclinal représente un pli concave de l'écorce terrestre qui peut avoir son équivalent dans les océans actuels.

Mais c'est surtout HAUG qui a mis en valeur l'interprétation océanique des géosynclinaux (Bibl. 31, 32), en considérant notamment l'Océan Atlantique comme un vaste géosynclinal en voie de dédoublement (Bibl. 32, p. 164). Dans l'ensemble cependant les exemples qu'il cite se rapportent moins aux océans eux-mêmes qu'à des zones marines en bordure plus ou moins immédiate des continents. C'est ainsi qu'il donne comme exemple probable de géosynclinaux actuels la Méditerranée et plus spécialement la Méditerranée occidentale, les fosses abyssales du Pacifique en bordure des chaînes montagneuses, le Golfe Persique, les fosses des Antilles et celles du S de Java. Car selon lui, les caractères éminemment bathyaux, quelquefois même abyssaux d'une partie des séries géosynclinales, caractères qu'on observe à travers toutes les périodes géologiques, exigent une sédimentation sinon océanique, en tout cas essentiellement marine. Il admet toutefois dans le remplissage terminal de ces zones fondamentales de sédimentation la participation de dépôts moins profonds, soit à faciès néritiques, soit provenant également de milieux lagunaires ou continentaux. Remarquons, mais sans entrer ici dans aucune discussion, que pour HAUG comme pour DANA, la condition océanique est maintenue pour des épaisseurs souvent énormes de sédiments non par le poids même des sédiments déposés, comme le voulait HALL, mais par suite de poussées latérales continues qui permettent aux sédiments de s'enfoncer au fur et à mesure de leur accumulation et de garder ainsi le même faciès sur des centaines, parfois sur des milliers de mètres d'épaisseur (Bibl. 32, p. 159).

En Amérique, CH. SCHUCHERT, dans sa division des géosynclinaux en mono-, poly-, méso- et para-géosynclinaux, a tenté de mieux préciser géographiquement cette notion envisagée de façon très globale par HAUG (Bibl. 59). Cependant pour SCHUCHERT comme pour HAUG il s'agit moins de domaines océaniques que de zones de sédimentation profonde en bordure des océans, pour SCHUCHERT également de zones intracontinentales.

D'autres auteurs par contre ont maintenu les régions océaniques comme des domaines importants des géosynclinaux. C'est l'opinion formulée très nettement par L. KOBER, pour qui les trois grands océans actuels représentent des géosynclinaux (Bibl. 37, p. 420 et sv.). Également l'interprétation tectonique des Océans Indien et Atlantique formulée par R. STAUB implique l'existence de géosynclinaux dans ces domaines océaniques (Bibl. 63, voir spécialement la carte générale).

Les avant-fosses en tant que sillons abyssaux. — La notion d'avant-fosse se rattache intimement à l'interprétation océanique des géosynclinaux,

étendue cependant non pas à l'ensemble des fonds océaniques, mais à des portions particulièrement profondes situées en marge de certains reliefs continentaux.

C'est dans ce sens que ED. SUESS l'a introduite en géologie en modifiant la nomenclature de sillons ou de fosses abyssales créée par SUPAN en 1899 par le terme d'avant-fosse (Vortiefen ou Vorgräben). Selon SUESS, lui, il s'agit de l'enfoncement de l'avant-pays sous une chaîne plissée (Bibl. 66, III, p. 1011—1012). C'est également le sens donné à ce terme par KOSSMAT, pour qui les avant-fosses apparaissent surtout comme le résultat d'actions isostasiques.

STILLE également considère les sillons abyssaux de l'Asie orientale comme des géosynclinaux. Mais, à cause de la situation actuelle de ces sillons sur l'arrière-pays des archipels asiatiques, il les désigne non pas comme des avant-fosses, mais comme des « Saumtiefen » (Bibl. 64, p. 385), qu'on peut traduire par le terme de fosses marginales.

Mais les exemples géologiques apportés par ces auteurs sont le plus souvent difficilement conciliables avec la sédimentation qui règne dans les sillons abyssaux, du moins dans les types actuels. C'est ainsi qu'ED. SUESS (Bibl. 66, III, p. 1617) et à sa suite EM. KAYSER (Bibl. 36, II, p. 222) donnent comme type de formation d'avant-fosse la Molasse du Plateau suisse avec ses conglomérats épais et les autres roches néritiques, saumâtres et continentales qui la constituent, donc une formation absolument dépourvue de toutes traces de dépôts de mers profondes. Il en est de même avec les autres exemples apportés, Couches des Siwaliks des dépressions du Bengale et du Gange, formations houillères de l'Europe centrale et occidentale ou de l'Amérique du N. Le seul exemple de formation plus nettement marine est celui du Flysch du N des Alpes, considéré cependant surtout sous son aspect de dépôt peu profond.

Les avant-fosses en tant que « talus maritimes ». — Une autre interprétation dérivant de la précédente mais dans laquelle les avant-fosses, tout en demeurant un des éléments du domaine marin, ne sont cependant pas équivalentes aux sillons abyssaux, est celle formulée plus spécialement par E. ARGAND et développée récemment par M. GIGNOUX. Pour ce dernier, l'avant-fosse est essentiellement représentée par la zone de passage entre les aires continentales et les géosynclinaux. Les véritables géosynclinaux, correspondant aux sillons abyssaux, mais trop éloignés du continent pour recevoir en grande abondance du matériel terrigène, offriraient une épaisseur modérée de dépôts. Par contre, les avant-fosses, directement adossées aux socles continentaux et représentant pour ceux-ci une sorte de « talus sédimentaire », accuseraient les épaisseurs maxima de sédiments (Bibl. 28, p. 13).

C'est dans ce sens que dans la chaîne alpine le géosynclinal valaisan représenterait selon ARGAND l'avant-fosse des Alpes embryonnaires (Bibl. 6, p. 170). D'autre part, selon ARGAND également, ce type sédimentaire aurait été particulièrement réalisé dans les chaînes pacifiques, ces dernières résultant de la déformation exclusive des marges continentales et des talus adjacents pour former dans la suite des « chaînes liminaires », mode particulier de chaînes neuves mais à contenu sédimentaire différent de celui des chaînes géosynclinales (Bibl. 8, p. 295 et sv.). Dans les Alpes françaises, GIGNOUX et MORET ont encore repris dernièrement cette idée pour exposer à partir du Lias le développement de la sédimentation des zones dauphinoises, ultra-dauphinoises et sud-briançonnaises (Bibl. 29).

Il faut avouer de suite que cette interprétation paraît plus théorique que réelle, du moins si l'on se rapporte au schéma donné à ce sujet par GIGNOUX (Bibl. 28, p. 6). Car si l'on admet que l'avant-fosse — dans le sens de GIGNOUX le talus sédimentaire qui morphologiquement correspond au talus maritime — est reliée au continent par une vaste plateforme continentale, c'est cette plateforme et non le

talus qui va absorber sinon l'ensemble, du moins la majeure partie des apports terrigènes, source principale de toute sédimentation marine. Car, contrairement à l'affirmation de GIGNOUX, les dépôts charriés sur les grandes plateformes ne paraissent que peu remaniés par les courants sous-marins et le jeu des transgressions et des régressions (loc. cit. p. 13).

Prenons le cas actuel des deux grandes plateformes en bordure de l'archipel des Moluques. Par rapport à la plateforme de la Sonde, le détroit de Macassar représente l'avant-fosse, si l'on se rapporte au schéma général donné par GIGNOUX. Or nous avons vu, par l'exemple de la sédimentation actuelle et par celle qui a régné au Néogène, que le gros du matériel terrigène est demeuré sur la plateforme et n'a pas été entraîné, ou du moins que très modérément, vers des zones océaniques voisines. Si aujourd'hui encore des limons sont entraînés de la mer de Java ou de la plateforme orientale de Bornéo vers le détroit de Macassar, ce ne peut être que dans une proportion modérée: sinon on ne voit guère comment subsisteraient les récifs barrières qui s'allongent justement à la partie orientale de la plateforme de la Sonde, à sa limite avec le talus maritime. Il en est de même pour la plateforme du Sahoul et son « avant-fosse » représentée par le sillon Timor-Ceram.

On a également envisagé l'accumulation de dépôts terrigènes puissants par l'existence de glissements sous-marins, analogues aux phénomènes de solifluxion décrits tout spécialement par ARN. HEIM. Ceci est difficilement applicable dans le cas de larges plateformes. Mais même là où la plateforme est étroite et voisine du talus maritime, il ne semble pas, du moins si l'on se rapporte aux résultats nouveaux mentionnés par KUENEN, que ces coulées sous-marines aient l'envergure qu'on a voulu leur attribuer (Bibl. 43, p. 69 et suiv.).

Application à l'Insulinde. — Dans son « Traité de Géologie », HAUG donne comme exemple actuel de géosynclinal les deux sillons océaniques qui apparaissent dans l'Océan Indien au S de Java. On aurait là en petit ce qui semble s'être passé dans l'Atlantique, la crête sous-marine en prolongement de la cordillère externe de Sumatra et qui sépare ces deux sillons représentant une sorte de géantyclinal médian dans un géosynclinal qui s'est déjà plissé modérément (Bibl. 32, p. 165—166). Cet exemple est bien connu et il a été repris et développé par divers auteurs.

D'autres géologues ont cherché des exemples dans le domaine de l'archipel des Moluques. Pour ARGAND, les deux arcs de Moluques peuvent être considérés comme résultant d'un plissement précurseur ayant déterminé le dédoublement d'un géosynclinal primitif en deux cordillères principales (Bibl. 6, p. 179—180).

Pour MOLENGRAAFF, les sillons océaniques en marge de Sumatra et de Java sont des géosynclinaux, avec à l'W de Sumatra, la cordillère externe comme géantyclinal: c'est l'interprétation de HAUG. Mais également les régions tertiaires de Sumatra, de Bornéo et de Java, avec leurs dépôts de charbons et de pétrole représentent les dépôts d'un géosynclinal (Bibl. 52, p. 292). Enfin, dans le domaine des Moluques, MOLENGRAAFF envisage tous les bassins profonds comme autant de géosynclinaux, les cordillères insulaires jouant dans ce cas le rôle de géantyclinaux (loc. cit. p. 293 et suiv.).

C'est à une interprétation assez analogue, quoique beaucoup plus restrictive, que s'est finalement rangé KUENEN, après une longue discussion de la notion générale du géosynclinal envisagée très diversement par une quantité de géologues (Bibl. 43, p. 50—57). Pour KUENEN, un géosynclinal « typique » demeure un bassin allongé, rempli par une épaisseur énorme de sédiments très peu profonds (Bibl. 41, p. 329): c'est l'interprétation du géosynclinal que nous allons voir dans le chapitre suivant. Toutefois KUENEN admet, mais en quelque sorte comme exceptionnelle, la présence de sédiments autres que ceux du faciès néritique dans certains géosynclinaux. Ce serait le cas pour le sillon Timor-Ceram. Quant aux autres bassins profonds des Moluques, plus larges et à caractères bathymétriques plus spéciaux,

ils correspondraient plutôt à des zones d'effondrement (« Innensenken ») qu'à des régions de grands plissements.

Les géosynclinaux en tant que régions à sédimentation maximale.

Cependant la notion primitive de mers profondes attribuée aux géosynclinaux a été souvent modifiée, parfois inconsciemment, par beaucoup de géologues, qui n'ont retenu qu'un seul caractère de ce genre de dépôts, celui de l'accumulation maximale des sédiments. Dans certains cas on a encore envisagé la participation de séries marines profondes, du type bathyal ou abyssal. Mais ce sont surtout les dépôts néritiques et les formations saumâtres et continentales qui ont fini par former l'essentiel, parfois même la totalité de ce qu'on a appelé les « séries géosynclinales », dans lesquelles l'épaisseur des dépôts prime sur tous les caractères lithologiques. De ce fait l'interprétation océanique ou simplement marine des géosynclinaux s'est trouvée détournée de son sens primitif et ces zones d'accumulation sont devenues finalement des domaines particuliers, propres à la sédimentation des aires continentales.

En Allemagne, VON BUBNOFF, dans diverses publications (Bibl. 19, 20) a particulièrement insisté sur le caractère sédimentaire de nombreuses séries géosynclinales dans lesquelles la monotonie des dépôts est loin d'être aussi grande que le voulait HAUG et où, à côté de séries bathyales et même de roches abyssales, on observe une abondance et le plus souvent une prépondérance des sédiments néritiques, lagunaires et continentaux. Il faut cependant remarquer que VON BUBNOFF admet que la grande épaisseur des dépôts accumulés ne se présente pas dans tous les géosynclinaux (Bibl. 20, p. 178).

Pour STILLE également c'est aussi l'énorme épaisseur des sédiments qui paraît être l'essentiel d'une telle série (Bibl. 64, p. 6). Quant à l'origine des sédiments, elle peut être selon lui très variable, parfois marine, parfois aussi exclusivement continentale.

De même la grande puissance des sédiments, le plus souvent résultant d'apports détritiques en bordure des océans, constitue pour DALY le caractère principal des séries géosynclinales (Bibl. 24, p. 203 et suiv.).

OBRUTSCHEFF, dans un article fort intéressant sur la conception des géosynclinaux à la lumière des théories orogéniques récentes (Bibl. 53), arrive à des conclusions analogues. Si l'on se base sur les faciès, les géosynclinaux ne sont pas des éléments des fonds océaniques, mais seulement des aires continentales, dans lesquelles peuvent s'entasser des dépôts extrêmement épais, mais d'origines les plus variées.

Certains géologues ont même dénié tout caractère profond aux séries géosynclinales. C'est le cas, selon OBRUTSCHEFF, du géologue russe BORISSJAK (Bibl. 53, p. 182).

De même GRABAU, dans ses travaux sur les séries géosynclinales interprétées en relation avec la migration des géosynclinaux, considère les sédiments qui s'y déposent successivement comme franchement néritiques, résultant donc de l'accumulation à des profondeurs restreintes, à proximité immédiate des continents. En outre ces séries peuvent être très souvent nettement continentales.

Cette même interprétation avec certaines modalités particulières se retrouve chez beaucoup de géologues, tels que DACQUÉ (Bibl. 23), LEUCHS (Bibl. 46), SOERGEL (Bibl. 61), etc.

Cas de l'Insulinde. — En rangeant les régions néogènes de Sumatra, Bornéo et Java qui circonscrivent la plateforme de la Sonde, dans les régions

géosynclinales, MOLENGRAAFF situe donc aussi des formations partiellement marines, mais aussi souvent franchement continentales dans le domaine des géosynclinaux.

Mais l'idée de la grande épaisseur des sédiments comme caractère essentiel d'un géosynclinal est tout particulièrement exprimée par RUTTEN dans son grand ouvrage de 1927 (Bibl. 57, p. 96, 417, 805, 907). Selon ce géologue, les sédiments marins profonds, soit abyssaux comme les radiolarites, soit bathyaux, ne constituent dans ces séries qu'un élément accessoire et permettant de reconnaître les jeux plus profonds des géosynclinaux dans le Secondaire, alors que durant le Tertiaire et surtout à partir du Tertiaire supérieur, ces géosynclinaux auraient été particulièrement peu profonds, permettant ainsi des accumulations de sédiments en partie saumâtres et continentaux. La même idée de l'épaisseur des séries géosynclinales se trouve pareillement exprimée dans le petit volume de vulgarisation consacré à la géologie de l'Insulinde (Bibl. 58, p. 29, 68, 91). Notons cependant que pour l'époque actuelle, RUTTEN, dans la discussion de l'existence possible de régions géosynclinales, situe ces régions dans les mers en bordure de l'Océan Indien et dans les bassins profonds de l'Insulinde et non pas sur les plateformes actuelles de la Sonde et du Sahoul (Bibl. 57, p. 807).

On trouve cette même interprétation des géosynclinaux basée sur la grande puissance des sédiments chez divers autres auteurs, par exemple chez ZWIERZICKI (Bibl. 80, p. 357).

Remarquons finalement que VAN ES et UMBGROVE (Bibl. 77) croient pouvoir déceler dans le détroit de Madoera, situé encore sur la plateforme de la Sonde, la trace d'un géosynclinal récent.

Interprétation tectonique des géosynclinaux.

Cas général. — Il est enfin beaucoup de géologues qui ont donné du géosynclinal une interprétation essentiellement tectonique, sans tenir spécialement compte de la nature des sédiments mais s'appuyant avant tout sur l'intensité des dislocations et sur l'effet morphologique aboutissant à la formation de grandes chaînes de montagnes. Cette interprétation a trouvé son expression la plus simple dans la phrase de HAUG: « Les chaînes de montagnes ont pris naissance sur l'emplacement des géosynclinaux » (Bibl. 32, p. 160).

Il est impossible de s'arrêter ici sur les modalités infiniment variées de cette interprétation, tantôt prise de façon exclusive, tantôt combinée avec des arguments d'ordre lithologique et de faciès. D'ailleurs, après une période de généralisation à outrance, on s'est aperçu qu'il y avait danger à vouloir ramener toutes les chaînes de montagnes à un type unique de dislocation, que d'autre part les grandes chaînes de montagnes présentaient des variations considérables soit dans leur structure, soit dans leur sédimentation. C'est ainsi qu'on voit en 1922 ARGAND établir l'existence de chaînes de montagnes sans l'existence préalables d'un géosynclinal (Bibl. 6, p. 221), ce qui le conduit à la distribution des mouvements tectoniques et de leurs effets dans un cadre tout nouveau et groupé essentiellement sous quatre types principaux, chaînes de fond, chaînes de couverture, chaînes liminaires et chaînes géosynclinales, ces dernières n'étant donc plus qu'une forme, évidemment toujours importante, mais non plus exclusive, dans l'histoire géologique des grandes déformations ayant affecté la surface terrestre et son tréfond immédiat.

Cas de l'Insulinde. — Il est évidemment bien difficile de classer les auteurs ayant traité de la tectonique générale de l'Insulinde et de la répartition des géosynclinaux et de leurs dislocations dans une catégorie déterminée. On constate

toutefois que certains d'entre eux ont porté en évidence plus particulièrement les caractères stratigraphiques, et c'est le cas de MOLENGRAAFF, WANNER, RUTTEN, ZWIERZICKI; d'autres, en particulier BROUWER (Bibl. 17), se sont attachés avant tout à faire prévaloir certaines lignes et certains ensembles tectoniques s'opposant ou se poursuivant sur de vastes espaces. A la base de ces exposés essentiellement tectoniques, on retrouve toujours une idée directrice en liaison avec une théorie orogénique. En particulier la comparaison très prudente d'ARGAND entre l'histoire des arcs alpins au Secondaire et au Tertiaire et l'état actuel des arcs de l'archipel des Moluques (Bibl. 6), également les suggestions contenues dans sa « Tectonique de l'Asie » (Bibl. 8), et, plus encore certaines conséquences qui semblent résulter de l'application de la théorie de WEGENER dans le domaine de l'Insulinde, ont donné naissance à des interprétations fort intéressantes sur la structure et l'histoire géologique de l'Insulinde. On trouvera ailleurs, en particulier dans des exposés récents dus à UMBGROVE (Bibl. 77, 78) et à KUENEN (Bibl. 43, p. 79—110) un aperçu critique sur ces diverses interprétations.

2. La notion de mers épicontinentales.

Le sens donné aux mers et aux dépôts épicontinentaux par les géologues est sujet aussi à certaines interprétations mais sans atteindre la confusion créée par le terme de géosynclinal. On est en général d'accord pour voir dans les dépôts épicontinentaux des sédiments essentiellement marins, parfois en partie lagunaires, en général peu épais, en superposition sur les aires continentales. Les divergences ne commencent que lorsqu'on veut préciser certaines conditions bathymétriques de ces dépôts.

a) Mers épicontinentales et dépôts peu profonds.

Pour certains géologues les mers épicontinentales coïncident avec le domaine de la plateforme continentale. Ces mers peuvent donc être soit en bordure des grandes aires continentales, soit à leur intérieur. Les dépôts qui s'y effectuent conservent dans leur ensemble le faciès néritique, et les modifications de celui-ci portent sur l'intercalation dans ce faciès de dépôts saumâtres et continentaux et sur la présence de lacunes stratigraphiques impliquant des émergences temporaires.

E. HAUG, sans utiliser expressément le terme d'épicontinental l'admet implicitement dans l'opposition qu'il établit entre les séries bathyales et puissantes des géosynclinaux et les séries néritiques, peu épaisses et à grandes variations de faciès qui recouvrent les aires continentales (Bibl. 32, p. 157). Cependant l'idée des aires d'ennoyage laisse entrevoir la possibilité de mers plus profondes à l'intérieur des continents. Pour STILLE ces aires d'ennoyage seraient des formes particulières de géosynclinaux (Bibl. 64, p. 9), mais ceci ne semble pas correspondre à l'idée fondamentale de HAUG.

b) Mers épicontinentales et dépôts profonds.

Pour la plupart des géologues cependant, il n'y a pas équivalence complète entre séries épicontinentales et séries néritiques peu épaisses. Le terme épicontinental n'a plus dans ce cas un sens purement bathymétrique mais correspond à la notion géographique de bassins intracontinentaux ou de mers péricontinentales en général peu profonds, mais contenant dans certains cas des parties plus profondes qui permettent l'accumulation momentanée de dépôts bathyaux.

GIGNOUX, dans la première édition de son *Traité*, se bornait à opposer les géosynclinaux, mers relativement permanentes, aux mers épicontinentales, sorte de

mers bordières, peu profondes, où se font sentir plus spécialement les transgressions et les régressions. Dans la nouvelle édition (Bibl. 28, p. 15) il a précisé davantage ces notions en distinguant les séries épicontinentales des plateformes stables où règne en plein le faciès néritique, et celles de plateformes soumises à des phénomènes de subsidence: ici apparaissent des faciès plus profonds. Mais en fait la stabilité des plateformes n'est nulle part réalisée et partout se fait sentir le phénomène de subsidence, soit par affaissement du socle continental, soit par exhaussement du niveau des mers. Nous l'avons vu en ce qui concerne l'Insulinde où la différence entre la plateforme du Sahoul et celle de la Sonde ne dépend pas de la stabilité ou de l'instabilité de ces plateformes. Toutes deux sont instables, quoique accusant des intensités variables: ce qui les différencie, ce n'est ni leurs socles qui, en gros, paraissent à peu près équivalents, ni les mouvements auxquels ces socles sont soumis, mais bien la nature des dépôts qui s'y accumulent et qui dépendent des cadres géographiques qui les entourent.

Cas des cycles sédimentaires. — On a constaté souvent qu'il est rare qu'une formation dite «épicontinentale» conserve dans son ensemble un faciès exclusivement néritique ou considéré comme tel. Très souvent, en particulier dans les séries calcaires, on voit s'intercaler des complexes marneux, généralement peu épais, mais qui semblent bien correspondre à des faciès plus profonds. On a en outre constaté qu'il y avait souvent récurrence de ce phénomène selon un certain rythme. Cette constatation importante a conduit à la notion bien connue des cycles sédimentaires qui joue un rôle considérable dans l'interprétation de certaines séries géologiques.

Cette notion introduite tout d'abord en Amérique, n'a été utilisée que tardivement en Europe, bien qu'incidemment on la rencontre déjà dans certains travaux anciens (MAYER-EYMAR, ROLLIER, ARN. HEIM, voir Bibl. 5, p. 251). Développée en 1910 par A. BUXTORF dans l'interprétation locale des séries géologiques du Burgenstock, puis en 1916 par W. KLÜPFEL pour la Lorraine, elle n'a cependant été couramment employée qu'à partir de 1917, à la suite de sa généralisation par P. ARBENZ pour les séries helvétiques des Alpes suisses et de sa mise en opposition avec d'autres types de sédimentation (Bibl. 5)⁵. Pour les séries de vastes plateformes à sédimentation relativement tranquille et continue, elle a permis l'analyse précise d'oscillations variées et présentant une certaine extension. Mais dans l'interprétation des séries complexes des géosynclinaux et des séries épaisses des bassins paraliques soumis à d'innombrables variations de faciès et de milieux, types sédimentaires que nous verrons tout à l'heure de façon plus précise, elle est loin d'apporter une contribution importante à cause de la complexité des phénomènes de sédimentation et des variations extrêmement locales des faciès.

Valeur des oscillations dans un cycle sédimentaire. — Dans le domaine des plateformes continentales, on a souvent voulu voir dans la répétition des cycles sédimentaires d'une série donnée l'action d'oscillations verticales particulières pour lesquelles C. K. GILBERT a créé le terme de mouvements épiorogéniques. On sait à quels débats cette notion a donné naissance. Sans vouloir remonter trop loin, rappelons le rôle essentiel attribué par STILLE à ces mouvements qu'il oppose aux mouvements orogéniques (Bibl. 64). Presque en même temps on voit ARGAND nier l'existence de ces mouvements (Bibl. 8).

⁵ Il faut également noter que la notion de cycle sédimentaire est employée parfois dans un sens tout différent de celui donné par BUXTORF et ARBENZ et qui peut prêter à équivoque. C'est ainsi que GIGNOUX emploie cette expression dans un sens beaucoup plus large. Pour lui, un cycle sédimentaire embrasse tout un ensemble de formations marines plus ou moins profondes encadrées de faciès côtiers ou continentaux (Bibl. 28, p. 22): c'est ainsi que tout le Crétacé de l'Europe N-occidentale, encadré par l'émergence de la fin du Jurassique et le retrait de la mer au Crétacé supérieur, apparaît comme un cycle sédimentaire (loc. cit. p. 416).

Il faut s'entendre sur la négation formulée par ARGAND. En fait les oscillations verticales de certains socles continentaux ne peuvent être délibérément écartées. Seulement ces oscillations apparaissent non pas comme une forme particulière de mouvements, mais comme un effet atténué et complémentaire de mouvements tectoniques généraux marqué par la prédominance des actions tangentielles et la subordination des aspects verticaux. Cette interprétation paraît nettement résulter de l'analyse des séries épicontinentales dans lesquelles l'importance des oscillations reste secondaire et n'apparaît que comme un épisode momentané qui peut d'ailleurs faire défaut.

Prenons le cas de séries épicontinentales types. C'est ainsi que le Tertiaire inférieur du Bassin de Paris reste entièrement confiné au faciès néritique en ce qui concerne le milieu marin. Par contre, le Crétacé du Jura et celui des nappes helvétiques inférieures des Alpes suisses offrent une diversité plus grande du fait de l'intervention de séries apparemment plus profondes. Car bien que ces séries soient principalement constituées par des sédiments marins peu profonds, à faciès néritique évident, calcaires le plus souvent organogènes avec accessoirement des grès et très localement quelques dépôts détritiques grossiers, on constate souvent l'intercalation dans ces complexes de séries marneuses attribuées soit par ARBENZ, soit par FICHTER également (Bibl. 26, p. 96—105) au faciès bathyal.

Il est certain que dans les cas d'oscillation d'une certaine amplitude l'isobathe de 200 m peut être dépassée: dans ce cas, il y a effectivement formation des dépôts bathyaux. Mais très souvent aussi tout paraît indiquer un simple approfondissement, ou, ce qui est la même chose, une oscillation dans le cadre de la région néritique. Car on constate que bien des complexes de séries marneuses alternent avec des calcaires récifaux: or il suffit dans ce cas d'une oscillation de quelques dizaines de mètres pour déterminer le remplacement momentané de roches calcaires par des complexes marneux qui ne représentent pas pour autant un dépôt bathyal.

Cadre géographique des dépôts épicontinentaux.

Cette longue analyse était nécessaire pour préciser le milieu marin dans lequel sont nées la plupart des séries dites « épicontinentales » ou à sédimentation cyclique. Leur caractère peu détritique exclut leur formation sur des plateformes à fort alluvionnement. De même la rareté ou l'absence de dépôts grossiers écarte l'existence de grandes cordillères à leur proximité. Tout conduit à admettre pour ces séries une sédimentation sur des plateformes en bordure d'aires continentales aplanies et soumises à des conditions climatiques telles que l'apport restreint d'alluvions terrigènes permette le développement intensif des dépôts d'origine organique et chimique. En général, les oscillations resteront dans le cadre de la région néritique, mais elles peuvent aussi être telles qu'elles amèneront soit l'émersion momentanée, soit un approfondissement jusque dans le domaine du talus maritime.

L'Insulinde fournit avec l'exemple de la plateforme du Sahoul un cas très suggestif de plateforme épicontinentale. Dans l'ensemble cette plateforme dépend nettement de la région néritique. Mais on la voit dans certaines portions dépasser ce cadre bathymétrique et déborder quelque peu sur la région du talus maritime. C'est ce qui apparaît sur le pourtour des bancs du Sahoul ainsi qu'au SE et au S de Jamberra où certaines parties de la mer d'Arafoera accusent des profondeurs moyennes de 500 m. J'ai également signalé auparavant le cas de la plateforme profondément submergée qui s'étend entre le S de Célèbes et l'extrémité orientale de la mer de Java. On trouve des exemples analogues dans l'Amérique centrale, en particulier dans le domaine des îles Bahama, où l'on constate entre les diverses îles qui constituent ce groupe et qui sont généralement accompagnées d'un large seuil submergé, la présence de sillons ou canaux beaucoup plus profonds qui dépassent parfois 2000 m. Il en est de même entre les plateformes de la Floride et des Bahama, séparées par le détroit de la Floride où règnent des profondeurs voisines de 1000 m.

Il s'agit dans les cas précédents de larges plateformes submergées. Par contre une émersion rapide d'une aire continentale peut occasionner la dis-

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 paralytique, épicontinentale et marginale.

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-