

Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 32 (1939)
Heft: 1

Artikel: Dépôts marins actuels et séries géologiques
Autor: Tercier, Jean
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-159921>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 24.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Dépôts marins actuels et séries géologiques

par Jean Tercier, Fribourg.

Table des matières.

	page
Introduction	47
A. La sédimentation actuelle dans les mers de l'Insulinde	48
I. L'aire continentale sud-asiatique et la plateforme de la Sonde	49
II. L'aire continentale australienne et la plateforme du Sahoul	56
III. L'archipel des Moluques	58
IV. Les rivages océaniques	66
B. Les conditions sédimentaires actuelles dans l'Amérique centrale	67
C. Interprétation géologique des dépôts néogènes et actuels de l'Insulinde et de l'Amérique centrale	70
I. Cas des faciès néritiques, bathyaux et abyssaux	70
II. Cas des géosynclinaux et des mers épicontinentales	78
D. Les types fondamentaux de la sédimentation	87
I. Faciès et types de sédimentation marine	87
II. Distribution générale des sédiments profonds	93
III. Récurrences sédimentaires et migrations des zones sédimentaires	95
Bibliographie	98

Introduction.

L'interprétation des conditions sédimentaires qui ont régné pendant les périodes géologiques basée sur celles qui s'observent dans les mers actuelles est demeurée pendant longtemps un objet un peu accessoire de la géologie. Il faut tout de suite reconnaître qu'il n'en a pas été de même des sédiments propres à d'autres milieux. Il est vrai qu'il est beaucoup plus aisé de retrouver pour les sédiments d'origine continentale des analogies évidentes avec les dépôts actuels, mieux accessibles à l'observation directe. Il a parfois suffi des travaux d'un seul savant pour établir, grâce à l'étude du présent, la reconstitution aussi fidèle que possible de l'histoire de certains sédiments. C'est ainsi que l'importance du faciès désertique dans l'interprétation de diverses formations géologiques (Old red sandstone, Permien de l'Europe occidentale, Trias germanique, etc.) a pris sa vraie valeur surtout à la suite des publications de JOH. WALTHER. De même les dépôts glaciaires, peu variés dans leur ensemble, se laissent en général aisément reconnaître dans les formations géologiques.

Toutefois l'étude des sédiments marins et leur mode de formation n'ont pas été négligés. Les travaux fondamentaux de J. WALTHER (Bibl. 72), les nombreuses publications de K. ANDRÉE et de quelques autres auteurs ont considérablement développé l'intérêt des études comparatives entre les dépôts marins actuels et les sédiments des formations géologiques. On trouvera dans un article récent de

K. ANDRÉE: «*Rezente und fossile Sedimente*» de nombreux détails et d'abondantes données bibliographiques sur le développement de ce problème, éclairé à la lumière de la conception actualiste (Bibl. 4).

Et cependant, dans l'histoire des sédiments marins, on n'est pas arrivé à se dégager d'un certain schématisme introduit il y a longtemps, qui avait sa raison d'être il y a encore 30 ans, mais qui aujourd'hui ne correspond plus aux apports nouveaux fournis par la stratigraphie, la paléogéographie et l'océanographie. En particulier les données très importantes recueillies à partir de 1923 par cette dernière science grâce à la méthode acoustique ont permis une révision considérable de la bathymétrie des fonds marins. Ces mêmes expéditions océanographiques ont également procuré une documentation beaucoup plus complète concernant les dépôts océaniques, documentation qui n'a pas jusqu'ici trouvé dans les milieux géologiques la compréhension qu'elle mérite pour l'histoire des sédiments marins.

C'est pourquoi ce n'est pas diminuer E. HAUG et la valeur de son «*Traité de Géologie*», paru en 1907¹), que de reprendre certaines de ses définitions et tenter de les mettre en union avec les apports de l'océanographie actuelle. Car c'est surtout des données fournies par HAUG qu'il sera question dans cet article, bathymétrie des régions néritiques, bathyales et abyssales et des sédiments qu'elles comportent, notions des géosynclinaux et des mers épicontinentales. Dans leur discussion, je ne pourrai d'ailleurs être complet, car pour cela il ne faudrait pas se contenter d'un article, mais écrire un gros volume.

Aussi je n'ai choisi que quelques cas précis. Pour la sédimentation actuelle j'ai utilisé tout particulièrement les données assez complètes que l'on possède sur l'Insulinde et incidemment celles de la sédimentation dans l'Amérique centrale et les Antilles. Au moyen de ces résultats j'ai tenté de rompre un peu les schémas pratiques, mais peu conformes à la sédimentation actuelle et au moyen desquels on s'efforce de raconter l'histoire d'une formation marine.

A. La sédimentation actuelle dans les mers de l'Insulinde.

Conditions bathymétriques et sédimentaires.

L'expédition du *Siboga*, dirigée par M. WEBER durant les années 1899—1900, a apporté des résultats considérables sur les conditions de bathymétrie et de sédimentation des mers de l'Insulinde. Ces résultats ont permis pour la première fois l'interprétation sérieuse des fonds marins de ce domaine intermédiaire entre le continent sud-asiatique et l'aire australienne. C'est en particulier sur les résultats de cette expédition qu'est basée la bathymétrie des cartes géologiques de E. ABENDANON (Bibl. 1). Une contribution importante a été également fournie lors de la publication d'un ouvrage traitant de l'ensemble des mers des Indes hollandaises orientales et dans lequel divers collaborateurs ont concentré toutes les observations essentielles antérieures à 1922 (Bibl. 38). Enfin, en 1929—1930, toute la partie orientale de l'Insulinde a été l'objet de l'expédition minutieuse du navire *Snellius*. Les premiers résultats de cette expédition ont paru dès 1929 sous forme de rapports préliminaires, puis, à partir de 1933, les résultats détaillés ont commencé à paraître dans une série de mémoires encore en cours de publication, de sorte qu'il n'est pas possible de s'appuyer sur la totalité des données nouvelles dans l'exposé qui va suivre. Cependant les premiers mémoires parus apportent déjà suffisamment de matériaux nouveaux pour légitimer l'étude actuelle.

¹) Les éditions ultérieures du *Traité de Géologie*, en particulier celle parue en 1921, ne sont en fait que des tirages nouveaux, sans modifications apportées au texte de l'édition primitive.

On peut dans l'Insulinde, du point de vue bathymétrique et sédimentaire, distinguer quatre grands domaines :

- I. L'aire continentale sud-asiatique et la plateforme de la Sonde.
- II. L'aire continentale australienne et la plateforme du Sahoul.
- III. L'archipel des Moluques, groupant les diverses îles entre Java-Bornéo et l'Australie-Nouvelle Guinée.
- IV. Les rivages océaniques en bordure des Océans Indien et Pacifique.

I. L'aire continentale sud-asiatique et la plateforme de la Sonde.

Caractères bathymétriques actuels.

Les trois grandes îles de l'Insulinde, Java, Bornéo et Sumatra sont reliées entre elles par un vaste seuil ou une plateforme submergée, connue depuis longtemps dans ses traits généraux et pour laquelle J. F. NIERMEYER et G. A. F. MOLENGRAAFF ont créé le terme de plateforme de la Sonde (Soenda-plat). Des cartes maritimes détaillées permettent de se rendre compte des conditions bathymétriques très spéciales de cette plateforme. Dans la mer de Java qui couvre toute sa partie méridionale, les profondeurs se tiennent entre 40 et 55 m. De vastes surfaces accusent 15 à 20 m d'eau et nulle part on n'atteint 100 m, sauf à l'E de Madoera, dans une zone qui correspond au bord le plus oriental de la plateforme. Des conditions bathymétriques analogues à celles de la mer de Java règnent dans le détroit de Malacca, dans le golfe du Siam et dans la partie méridionale de la mer de Chine jusqu'au NE des îles Natoena où s'étend une zone accusant des profondeurs de 100 à 160 m.

Conditions géologiques de la plateforme actuelle.

Comme l'indique la nature géologique des diverses îles qui émergent au milieu de cette plateforme, Banka, Billiton, Karimata et les autres îles de la mer de Chine, puis, dans la mer de Java, les petites îles de Karimoen-Djava, finalement, à la marge immédiate de la plateforme, les affleurements restreints de roches anciennes isolées dans les vastes plaines maritimes de Sumatra et de Bornéo, le substratum de la plateforme actuelle paraît être essentiellement constitué par des roches éruptives et métamorphiques. Ce n'est que dans le voisinage de la presqu'île de Malacca qui vient s'insérer profondément dans la plateforme, que des formations sédimentaires du Primaire et du Secondaire commencent à jouer un certain rôle.

Il faut signaler dès maintenant l'absence presque totale des formations tertiaires dans la constitution du sous-sol de la plateforme actuelle.

Sédimentation actuelle.

Dépôts marins. — Prenons le cas précis de la mer de Java. Dans cette mer et son prolongement immédiat vers la mer de Chine aboutissent tous les grands fleuves de Sumatra, comme le Kampar, l'Indragiri, le Batang Hari (Djambi) et le Moesi. Bornéo alimente cette mer avec le Kapoeas et le Barito, pour ne citer que les fleuves principaux. Egalement toutes les rivières importantes de Java y amènent leur matériel.

Considérons de façon plus précise la nature des matériaux charriés par ces fleuves sur la plateforme de la Sonde. Tous ces cours d'eau ont leurs sources dans les chaînes montagneuses adossées à la côte de l'océan Indien à Sumatra, dans les parties centrales en ce qui concerne Bornéo. Aussi ne parviennent-ils à la côte qu'après un parcours de plusieurs centaines de km à travers des terres basses et si dépourvues de pentes que le phénomène des marées se fait sentir à des dizaines

de km à l'intérieur. Or ces fleuves ne charrient guère autre chose que du matériel limoneux qui, parvenu à la mer, va progressivement se déposer sous forme de sables fins, de vases et de boues terrigènes. L'apport de matériaux un peu grossiers, sables moyens et cailloutis est nul ou tout à fait négligeable. La présence de quelques reliefs volcaniques à Java, au voisinage de la côte, ne peut guère apporter de modifications dans le caractère général de cette sédimentation. Cependant sous cette forme de dépôts extrêmement fins, l'alluvionnement de ces cours d'eau est énorme. C'est ainsi que le Solo, à Java, qui, comparé aux fleuves énormes de Sumatra et de Bornéo, n'a qu'un volume d'eau restreint et dont le cours est relativement court, a une charge 8 fois plus grande que celle du Rhin inférieur (Bibl. 60, p. 491).

L'extrême monotonie de cette sédimentation essentiellement limoneuse est indéniable et ne se trouve que très localement interrompue. Aux abords des îles rocheuses de Banka-Billiton, puis à l'E de la presqu'île de Malacca, l'érosion fluviale et l'abrasion marine amènent certainement quelques matériaux plus grossiers. Dans le voisinage des îles de la mer de la Sonde suffisamment éloignées des grands domaines insulaires pour être à l'abri des eaux limoneuses, plus rarement à la marge même des grandes îles (N de la baie de Batavia, Bibl. 76), on observe également un développement modéré de récifs coralliens, déterminant donc une sédimentation particulière, mais qui reste cependant exceptionnelle dans le domaine de la plateforme. Toutefois il est probable que cette sédimentation organogène joue un rôle assez important dans certaines portions centrales de la mer méridionale de Chine. On manque cependant de données à ce sujet.

Par contre dans la mer de Java la répartition des dépôts actuels a été l'objet des recherches de E. MOHR (Bibl. 51) et la carte de MOHR et WHITE montre une distribution assez irrégulière des éléments sableux et vaseux, mais avec prédominance très nette de ces derniers. Il faut noter que ces recherches n'ont confirmé qu'imparfaitement les résultats attendus. Car dans l'axe de la mer de Java qui du S de Banka va vers les îles Arend et Laoet Ketjil, donc assez loin des côtes, elles ont montré une extension considérable de sables et de petits graviers. Selon MOLENGRAAFF (Bibl. 52, p. 339) et RUTTEN (Bibl. 57, p. 183 à 184), il s'agirait non pas d'alluvions fluviales originaires des îles voisines, mais de dépôts autochtones résultant du remaniement de roches prétertiaires constituant le sous-sol de la mer de Java. Mais dans l'ensemble, les recherches de MOHR ont confirmé l'accumulation puissante des vases fluviales le long des rivages et souvent jusqu'à de grandes distances au large des côtes.

Dépôts continentaux et saumâtres. — Sur presque tout le pourtour de la plateforme, la ligne des côtes est formée par d'immenses plaines maritimes et alluviales, qui s'étendent vers l'intérieur sur des profondeurs de plusieurs dizaines de km pour atteindre dans le S de Sumatra une largeur de 200 à 300 km. Ces terres basses, occupées près des côtes par les plaines à palétuviers, plus en arrière par les marécages à nipa, enfin plus loin par des marais continentaux entre des régions de collines assez basses quoique très accidentées, offrent un type bien défini de dépôts en partie saumâtres, en partie continentaux, caractérisés par l'accumulation de boues, de limons et de tourbe, avec localement des sables et des graviers, le tout sous une couverture végétale continue et puissante. Les travaux de POTONIÉ, repris ensuite et développés par les géologues et agro-géologues hollandais, ont apporté des renseignements précieux sur les modalités de ce type de sédimentation et sur l'extension des phénomènes de carbonification aboutissant à la formation progressive de tourbes et de lignites, en partie continentaux, en partie paraliques.

Persistence de cette sédimentation.

En fait, les conditions de dépôts qui règnent dans l'ensemble de la plateforme et sur les terres qui l'environnent ne sont pas spéciales à l'époque actuelle. Les mêmes types de sédiments, soit marins, soit continentaux et saumâtres, se retrouvent dans la plupart des séries géologiques à partir du Néogène, mais plus distinctement encore dans le Pliocène de Sumatra et de Bornéo, modifiés toutefois par certaines actions diagénétiques. On les retrouve également à Java, quoique soumis à des conditions souvent différentes qui se traduisent par une réduction du faciès continental et par un caractère plus profond des dépôts marins. En effet, à Sumatra et à Bornéo, les vastes plaines à palétuviers sont aujourd'hui représentées dans les séries tertiaires par l'extension énorme des lignites, interstratifiées dans des sables, des grès et des argiles qui correspondent aux dépôts fluviaux et alluviaux des temps néogènes. De même, les dépôts limoneux actuels de la plateforme de la Sonde trouvent leurs équivalents géologiques dans les grès et les schistes terrigènes à *Rotalia*, à Operculines et autres foraminifères qui s'intercalent et s'intriquent irrégulièrement dans les sédiments continentaux et saumâtres. Les variations extrêmes des faciès et leur extension réciproque ont été l'objet de nombreux travaux monographiques qu'il est impossible de rapporter ici. On les trouvera en partie résumés et condensés dans les ouvrages plus généraux parus assez récemment sur la géologie de l'Insulinde (Bibl. 17, 57, 47).

Cette persistance des conditions sédimentaires depuis le milieu des temps tertiaires, dans certains cas dès l'Eocène et l'Oligocène jusqu'à l'époque actuelle, explique l'extrême difficulté qu'il y a souvent à fixer des limites précises entre les dépôts actuels et quaternaires et les formations du Tertiaire. En outre, l'intensité de cette sédimentation se chiffrant par milliers de mètres pour le Pliocène seulement — dans le N de Sumatra, plus de 8000 m, avec un minimum de 2000 m (Bibl. 58, p. 108) — se retrouve, toutes proportions gardées, dans le Quaternaire. C'est ainsi que certains sondages pétrolifères effectués le long des côtes de Sumatra, de Bornéo et de Java, sont demeurés sur des centaines de mètres dans des dépôts quaternaires très semblables aux dépôts actuels, sans qu'il soit possible d'établir une limite sérieuse vis-à-vis des formations pliocènes sous-jacentes.

Migration de la plateforme de la Sonde.

La persistance des conditions sédimentaires dès le Tertiaire et plus spécialement à partir du Tertiaire supérieur jusqu'à l'époque actuelle n'implique cependant pas la persistance dès le Néogène de la plateforme actuelle de la Sonde. Au contraire, cette dernière est relativement récente. En plus de l'absence presque totale de sédiments tertiaires dans le substratum qui la constitue aujourd'hui, l'abondance de matériaux de nature éruptive dans les sédiments néogènes à Java et à Bornéo a conduit déjà MOLENGRAAFF à supposer l'existence, sur l'emplacement de la mer de Java, d'une chaîne de montagnes durant le Néogène, chaîne qui aurait en quelque sorte joué un rôle semblable à celui de la presque île actuelle de Malacca et qui comme cette dernière aurait alimenté de ses débris des plateformes analogues à celle de la Sonde, mais occupant le domaine des plaines tertiaires de Sumatra-Java d'une part, de Bornéo d'autre part. Ce n'est que beaucoup plus tard, selon MOLENGRAAFF à la fin du Tertiaire ou au début du Quaternaire (Bibl. 52, p. 274), que cette chaîne médiane, peut-être continue, peut-être formée d'îles, et séparant deux vastes plateformes, aurait été réduite à l'état de pénéplaine plus ou moins submergée. Après une émergence durant

le Quaternaire, cette pénéplaine aurait été à nouveau envahie par la mer et c'est à ce moment seulement que serait née la mer de Java actuelle et ses dépendances.

Selon MOLENGRAAFF, partisan de la théorie glaciaire émise par PENCK et qui, sous une autre forme, a été reprise par D. DALY pour expliquer certains mouvements propres aux récifs coralliens, cette dernière submersion serait en liaison avec un exhaussement général du niveau des mers dû à la fonte des grands glaciers quaternaires. Très certainement la cause de cette submergence marine est d'origine tectonique et résulte de soulèvements progressifs des chaînes tertiaires qui encadrent la plateforme et qui ont amené la migration de la mer peu profonde de la Sonde sur son emplacement actuel.

Remarquons dès maintenant qu'au Tertiaire inférieur, et jusqu'au Miocène les conditions bathymétriques qui ont régné dans le domaine des grandes îles de la Sonde ont dû être en général bien différentes. Car les caractères lithologiques et paléontologiques des couches inférieures de Palembang et de Goumai, pour prendre l'exemple de la partie S de Sumatra, impliquent une sédimentation plus profonde et soumise à des conditions géographiques particulières qu'on retrouve aujourd'hui, comme nous le verrons plus loin, dans le domaine de l'archipel des Moluques. Il en est de même de la majeure partie du Tertiaire inférieur de Bornéo.

Subsidence considérable et émergences momentanées.

La constance, en particulier dans les dépôts pliocènes, des faciès marins et continentaux sur des épaisseurs énormes implique un affaissement continu, ou, pour employer un mot remis à la mode, l'existence d'une subsidence de grande amplitude. Ce même phénomène a dû se poursuivre au Quaternaire et probablement se maintient aujourd'hui sous l'apport sédimentaire actuel. Cependant la subsidence n'a pas été toujours continue et régulière et on retrouve soit dans les séries géologiques, soit dans les dépôts quaternaires, soit enfin dans les dépôts et le relief d'aujourd'hui des preuves de soulèvements restreints et d'émersions temporaires.

Laissant de côté ici le cas des formations tertiaires, nous trouvons dans les périodes ultérieures différents indices de variations du niveau des mers causées par des oscillations positives.

C'est à une émergence temporaire que serait due l'existence dans le domaine actuel de la plateforme de la Sonde de vallées submergées qui peuvent être encore mises en relation presque immédiate avec les cours des fleuves principaux de Sumatra et de Bornéo. On trouvera dans RUTTEN (Bibl. 57, p. 185—190) un excellent résumé de ce problème, étudié tout spécialement par MOLENGRAAFF, VAN WEEL et M. WEBER (Bibl. 38). Pour MOLENGRAAFF qui croit pouvoir expliquer la mise à sec de la plateforme actuelle par une déficience des eaux marines retenues dans les grandes masses des glaciers quaternaires (voir p. 51), l'érosion de la plateforme et la formation des ravins actuellement submergés dateraient de ce fait du Quaternaire. Toutefois le caractère encore très marqué des ravinements sous-marins malgré l'alluvionnement énorme qui s'est fait sentir dès le Quaternaire dans la mer de la Sonde parle plutôt en faveur d'une mise à sec à la fin de cette période.

Il faut également mentionner le cas des vastes plaines alluviales en bordure de la plateforme qui représentent la mise à sec de zones faisant antérieurement partie du domaine marin. On connaît en outre des extensions locales de récifs coralliens soulevés et de terrasses de graviers (ERB, TOBLER, etc.).

Ainsi donc, et contrairement à l'idée exprimée par MOLENGRAAFF (Bibl. 52, p. 282) d'un affaissement ininterrompu de la plateforme de la Sonde, il y a des indices de soulèvements momentanés. On retrouvera des cas semblables sur les

côtes orientales de Bornéo, comme nous le verrons dans la suite. Mais dans l'ensemble, ce sont bien les phénomènes d'affaissement qui prédominent, les exemples précédents ne représentant que des épisodes locaux dans une subsidence générale. On le constate aisément dans l'aspect morphologique des côtes actuelles de la plateforme. Si l'on excepte Java, où certains deltas atteignent un développement assez marqué, on constate sur l'ensemble des côtes de Sumatra et de Bornéo baignées par la mer de Java l'absence totale de deltas, malgré l'alluvionnement incessant, et leur remplacement par des estuaires relativement larges et profonds. Et cependant, soit à Java où le phénomène a été plus particulièrement étudié, soit également à Sumatra et à Bornéo, la subsidence générale n'empêche pas le rapide déplacement de la ligne des côtes en faveur de la région continentale (Bibl. 57, p. 131—132; 35, p. 42—47; 76, p. 34—35; 18). Autrement dit, la migration progressive de la plateforme de la Sonde se continue aujourd'hui dans le domaine de la mer de Java.

Les conditions de sédimentation sur la côte orientale de Bornéo.

Sédimentation actuelle. — Le cas de la mer de Java est particulièrement suggestif, cette mer peu profonde étant presque de tous côtés alimentée par des fleuves à alluvions limoneuses abondantes. Des conditions analogues, bien que moins accentuées, se rencontrent dans la partie méridionale de la mer de Chine, plus largement ouverte vers le NE. On les retrouve également sur les côtes orientales de Bornéo. La plateforme submergée qui borde ces côtes, très large dans le S, devient étroite aux abords de la presqu'île de Mangkalihat pour accuser à nouveau une extension horizontale de 40 à 100 km entre cette presqu'île et l'extrémité orientale des îles Sulu. Sa limite extérieure est particulièrement bien marquée dans le S, en plus des courbes bathymétriques, par un développement important de récifs barrières, connus sous le nom de grande barrière de la Sonde. Quant aux récifs des Paternoster et des îles situées à l'W de l'archipel de Spermonde, ils sont séparés de la plateforme par des profondeurs marines de quelques centaines de mètres et constituent une zone sédimentaire très spéciale, que nous décrirons dans la suite. Il en est de même des récifs barrières qui apparaissent au N de la presqu'île de Mangkalihat (Marathea, Moearas).

Mais sur la plateforme, la sédimentation marine du type récifal ou franchement océanique ne joue pas un rôle considérable. Tout au plus, près de certaines côtes, on peut observer quelques récifs frangeants. C'est ainsi qu'entre Bantang et Sangkoelirang, ils accusent une certaine extension à cause de l'absence de fleuves à alluvionnement considérable. On peut même constater un développement local de ces récifs à l'intérieur des baies découpées de la partie S.

Dans la baie de Balik Papan, où j'ai eu l'occasion de procéder durant plusieurs mois entre 1929 et 1930 à des levés géologiques, les dépôts actuels sont essentiellement formés par des limons fluviaux. Cependant, comme aucune rivière importante n'aboutit à cette baie, ces apports restent limités et n'ont pas empêché un modeste développement de dépôts récifaux. C'est ainsi que sur le versant E de Poeloe Balang, une petite île bien connue par ses affleurements classiques de Miocène et située environ 10 km à l'intérieur de la baie, on observe quelques coraux en groupements isolés sur les bancs rocheux qui affleurent au voisinage immédiat de rives à paléuviers. On a là un exemple modeste mais caractéristique de l'intrication des faciès coralliens avec le faciès continental des plaines maritimes boisées. Car cet exemple actuel a son équivalent au Miocène et au Pliocène de la même région, également dans celle du Sadjau et de Sibetik (NE-Bornéo) où l'on trouve des calcaires coralliens surmontant directement des lignites et parfois interstratifiés avec eux.

Mais dans l'ensemble la sédimentation de cette plateforme de Bornéo est essentiellement le résultat de l'alluvionnement des fleuves puissants qui y aboutissent, Mahakkam, Beraoe, Boelongan et Sibetik. De même que dans la mer de Java, il s'agit surtout de limons qui, le long des côtes, constituent des bancs de vases sableuses alors que les boues argileuses sont entraînées vers le large.

Entre Beraoe et Boelongan, certaines rivières provenant de zones marécageuses et caractérisées par la teinte rougeâtre et jaunâtre de leurs eaux forment sans arrêt des bancs en épis et en digues modifiant considérablement le contour des côtes par dépôt de leurs alluvions sableuses, alors que les limons argileux colorent les eaux marines sur 10 et quelquefois 20 kilomètres au large des rivages.

Conditions sédimentaires durant le Tertiaire. — Dès l'Eocène dans certaines régions (Poeloe Laoet), puis durant une partie du Miocène, enfin durant tout le Pliocène, on retrouve de part et d'autre de la presqu'île de Mangkalihat, des formations géologiques accusant les mêmes conditions sédimentaires que celles qui règnent actuellement. Soit dans le Tertiaire de Koetei, soit dans celui de Beraoe-Boelongan-Tarakan, tout le Tertiaire supérieur est constitué par l'alternance de séries sableuses et argileuses, avec un peu partout des intercalations multiples de lits charbonneux, souvent très épais, et quelquefois aussi interstratifications de calcaires coralliens.

Dans la région de Sadjau (entre Boelongan et Beraoe), puis dans celle de Tarakan, une discordance assez nette existe entre le Miocène et les complexes très épais du Pliocène représentés ici par les couches de Sadjau, de Tarakan et de Boenjoe, qui permet ainsi de fixer certaines divisions stratigraphiques malgré la constance des faciès. Mais là où cette discordance manque ou est demeurée très faible — et c'est généralement le cas entre le Pliocène et le Quaternaire, les formations du Tertiaire le plus supérieur ayant été soit faiblement ondulées sous forme de larges voûtes à grand rayon de courbure (Tarakan) ou simplement soulevées en une sorte de flexure à très faible inclinaison (Sadjau) —, il devient presque impossible d'établir une limite véritable, tant les faciès ont gardé les mêmes caractères. On y parvient dans certains cas à l'aide de données paléontologiques très délicates, car la persistance des faciès a entraîné dans une certaine mesure la persistance des faunes.

Cas de la presqu'île de Mangkalihat. — Cette région accuse une sédimentation toute différente des autres régions tertiaires de l'E-Bornéo. Au lieu de dépôts continentaux et saumâtres, on y observe exclusivement des formations marines, marnes à Globigérines et calcaires récifaux. Ces formations tertiaires, à faciès franchement marins et qui peuvent dépasser une épaisseur de 1000 m (Bibl. 47, p. 621), reposent en discordance sur la formation de Danau, surtout mésozoïque, ou sur le soubassement paléozoïque, essentiellement cristallin. Ce type sédimentaire très spécial implique durant le Tertiaire et plus particulièrement durant le Néogène, période à laquelle se rattachent surtout les calcaires coralliens, l'existence dans cette région d'une plateforme continentale soumise à des conditions géographiques tout autres que celles qui régnaient sur les plateformes bordières de Koetei et de Beraoe.

De telles conditions rappellent, toutes proportions gardées, celles qui semblent exister aujourd'hui dans la partie septentrionale de la plateforme de la Sonde (mer de la Chine méridionale). On voit en effet dans ce domaine de la mer de la Sonde deux types très différents de sédimentation marine. En effet dans le S (côtes NW de Bornéo) et dans le N de cette mer (golfe de Siam et côtes de l'Indochine) la sédimentation est du type des plaines alluviales marines. Entre ces deux domaines à dépôts essentiellement terrigènes et puissants, la partie centrale de la plateforme avec les îles Anambas et Natoena, située assez loin des côtes alluviales pour être à l'abri des apports terrigènes, montre un développement assez considérable des faciès coralliens et organogènes.

Importance des phénomènes de subsidence. — Les séries à lignite atteignent partout des épaisseurs considérables, se chiffrant par milliers de mètres. C'est l'indication bien nette de la grande amplitude des subsidences sur cette plateforme. Comme on l'a vu, ce même phénomène semble se poursuivre à travers tout le Quaternaire et jusque dans la période actuelle. Car des sondages effectués dans le delta du Mahakkam ont traversé des séries très puissantes, épaisses de plusieurs centaines de mètres, et qui paraissent devoir être attribuées au Quaternaire, pour autant qu'on peut les séparer du Pliocène sous-jacent.

L'intercalation de calcaires coralliens dans les formations à lignite prouve cependant des affaissements de valeur inégale permettant parfois, mais très momentanément — car ces calcaires coralliens sont généralement très peu épais —, certaines ingressions marines sur le domaine continental. Mais dans l'ensemble le caractère détritique de la sédimentation est évident, aussi bien pour le milieu marin que pour les milieux saumâtres et continentaux.

Cas d'oscillations récentes. — RUTTEN a spécialement attiré l'attention sur le cas des côtes orientales de Bornéo qui présentent des caractères très spéciaux: des récifs coralliens soulevés et des terrasses de sables et de graviers prouvent l'existence de soulèvements post-tertiaires alors que la morphologie générale des lignes côtières indique plutôt l'existence d'affaissements. Dans l'ensemble RUTTEN conclut à un soulèvement assez général des pénéplaines post-tertiaires de Koetei et de Boelongan (Bibl. 57, p. 303—306).

En fait il faut dissocier deux mouvements successifs. Le premier résulte d'un soulèvement vers la fin du Quaternaire, analogue à celui décrit pour les côtes E de Sumatra (voir p. 52). Il paraît correspondre à une émergence assez générale des aires continentales en bordure de la plateforme de la Sonde. Toutefois son amplitude sur les côtes orientales de Bornéo doit avoir été plus considérable qu'ailleurs.

Le long des côtes de Koetei, on observe des terrasses de sables et de dunes quaternaires qui se trouvent encore à 100 m au-dessus du niveau actuel de la mer. Des dépôts analogues, mais souvent beaucoup plus grossiers et formés de cailloutis assez épais couvrent de larges surfaces dans les régions côtières de Beraoe et de Boelongan. On trouve également des récifs surélevés ainsi que des sables marins à divers endroits. Ainsi que RUTTEN le souligne, ce soulèvement expliquerait aussi la topographie extrêmement marquée d'une grande partie des régions côtières de l'E-Bornéo, où l'on voit entre de vastes plaines alluviales récentes les formations néogènes former des collines assez hautes et caractérisées par des pentes très fortes et qui résultent certainement d'un rajeunissement récent d'une pénéplaine surélevée.

Actuellement il n'y a pas soulèvement comme le suppose RUTTEN, mais au contraire une subsidence bien marquée, mais qui n'a pas encore pu compenser les effets du soulèvement antérieur. De là le caractère si spécial de cette côte où l'on trouve pour ainsi dire réunies des traces d'affaissement et de soulèvement et la difficulté de séparer les effets de ces mouvements contraires. Car dans l'ensemble les côtes E de Bornéo rentrent, tout comme celles de Sumatra en bordure de la mer de Java, dans la catégorie des côtes à estuaires, caractéristiques des régions marines en voie d'affaissement.

Là où n'aboutit aucune rivière susceptible de compenser quelque peu l'ingression marine on observe des baies profondes et découpées, avec une multitude d'îles, d'îlots et de bancs rocheux et sableux. Ce type est réalisé dans la partie SE avec les baies de Sangkoelirang, de Balik Papan, de Kloempang, etc. Dans le NE, l'apport alluvionnaire de fleuves beaucoup plus puissants qui aboutissaient primitivement dans des baies analogues à celles du SE, a donné naissance à des estuaires profonds, tels que ceux du Beraoe, du Boelongan et du Sibetik. Le seul delta bien marqué sur cette côte, celui du Mahakkam, ne contredit pas l'interprétation d'un affaissement général de la région côtière. Car si l'alluvionnement énorme de ce fleuve a permis aux dépôts récents

de déborder la ligne des côtes et de former une presqu'île marécageuse qui gagne apparemment sur la mer, ce delta a conservé des bras très profonds qui permettent à des navires d'un tirant d'eau assez grand de le traverser aisément et de remonter le fleuve sur plus de 30 km.

II. L'aire continentale australienne et la plateforme du Sahoul.

Conditions bathymétriques.

De même que la masse continentale sud-asiatique, l'aire continentale australienne se prolonge dans sa partie NW par un seuil submergé de grandes dimensions et que MOLENGRAAFF a dénommé plateforme du Sahoul (Sahoel-plat), nom emprunté aux hauts fonds qui apparaissent au S de Timor. Au SE de Timor, cette plateforme s'étend sur une largeur d'environ 400 km. Plus à l'E, elle est recouverte par la mer d'Arafoera et le golfe de Carpentarie et relie ainsi la Nouvelle-Guinée à l'aire australienne.

Moins bien connu que la plateforme de la Sonde, ce seuil accuse des profondeurs en général supérieures, mais ne dépassant guère la courbe bathymétrique de 200 m. Il est profondément séparé de l'archipel des Moluques par le sillon de Timor-Ceram.

Sédimentation actuelle.

Dans le secteur de la plateforme situé en bordure de la Nouvelle-Guinée dominant des conditions sédimentaires analogues à celles de la plateforme de la Sonde. Les puissants fleuves issus des chaînes internes de la Nouvelle-Guinée et qui aboutissent dans la mer d'Arafoera alluvionnent abondamment cette mer en dépôts limoneux. Ce type sédimentaire se traduit par les vastes plaines maritimes qui s'étendent sur tout le bord méridional de cette grande île.

Cependant, la majeure partie de la plateforme du Sahoul, liée essentiellement à l'aire continentale australienne, offre des conditions sédimentaires bien différentes. Les facteurs climatiques qui règnent dans la partie NW de l'Australie réduisent considérablement les actions érosives, et conséquemment, celle de l'alluvionnement. Les quelques fleuves et rivières, tous de peu d'importance, qui aboutissent sur la plateforme, n'ont que des charges limitées d'alluvions, nullement comparables à ce qui se passe dans la mer de Java. En outre, l'absence de plaines alluviales et le relief assez accentué qui se fait sentir un peu partout jusqu'à la côte, vont déterminer l'apport de matériaux terrigènes plus grossiers. Bref, à la différence de ce qui s'observe sur la plateforme de la Sonde, l'alluvionnement par les vases terrigènes ne va plus jouer le rôle essentiel.

Par contre les dépôts d'origine chimique et organique²⁾ semblent devoir être d'autant plus intenses. On ne les connaît, il est vrai, qu'imparfaitement, car cette plateforme n'a été que très sommairement explorée. Ce type de dépôts marins dépend surtout des conditions bathymétriques du seuil. Car là où ce seuil est peu profond, on assiste au développement considérable des formations coralliennes, récifs frangeants et récifs barrières: on les observe tout particulièrement dans la baie de Carpentarie, puis sur le pourtour des îles Aroe et des hauts fonds qui accidentent ce seuil. On les retrouve formant une ceinture assez discontinue à la marge de la plateforme (récif de Ashmore, Habemia, Troubadour,

²⁾ Selon beaucoup d'auteurs, il est douteux que de purs phénomènes chimiques puissent produire des calcaires. D'après VERNADSKY, leur précipitation serait toujours liée à l'activité d'organismes, le plus souvent de microorganismes. Le problème n'est cependant pas définitivement résolu.

Lynedoch), et parfois séparés de cette plateforme, probablement à la suite d'une submergence assez récente par une zone un peu plus profonde (300—400 m) et limitée à la région située au NW de l'Australie (Scott-Reef, Rowley-Reef). Dans les parties plus profondes du seuil, la sédimentation marine paraît surtout résulter de l'accumulation de boues coralliennes et de vases à Globigérines additionnées de boues terrigènes. Du moins c'est ce qu'on peut déduire des quelques échantillons recueillis par l'expédition du *Challenger* et consistant surtout en vases terrigènes très riches en glauconie et en squelettes de Foraminifères, avec une teneur en calcaire allant jusqu'à 38,7% (Bibl. 74, p. 339).

En résumé, tout conduit à admettre que dans la majeure partie de la plateforme du Sahoul la sédimentation actuelle doit être très réduite si on la compare à celle qui s'effectue dans la mer de la Sonde. En outre elle offre un type tout différent, caractérisé par une réduction des apports terrigènes et participation considérable des apports d'origine organique.

Persistance des conditions sédimentaires.

Si nous faisons abstraction de la partie S de la Nouvelle-Guinée où dès le Tertiaire supérieur ont régné des conditions sédimentaires analogues à celles qui s'observent aujourd'hui, du type de la sédimentation alluviale, on constate dans le Néogène et le Quaternaire de la partie australienne de la plateforme un type sédimentaire tout différent et qui équivaut, lui aussi, à la sédimentation actuelle.

La région continentale australienne en bordure de la plateforme est constituée essentiellement par des formations paléozoïques (surtout du Cambrien et du Carbonifère inférieur) et mésozoïques, étudiées sommairement jusqu'à présent. Quant aux formations tertiaires, on ne les signale que sur la plateforme elle-même, dans la région des îles Aroe. Ce groupe d'îles, encore mal connu, se rattache très probablement au socle cristallin australien, car on y a signalé des affleurements restreints de granite. Dans son ensemble il est recouvert d'une carapace de calcaires, en partie coralliens, en partie gréseux et marneux, disposés presque toujours en couches horizontales. Pendant longtemps on a considéré ces calcaires comme des récifs coralliens quaternaires. La découverte de faunes assez riches en Bivalves et en Echinides, ainsi que la présence de Lépidocyclines, a prouvé qu'ils dataient, sinon entièrement, du moins en partie, du Tertiaire (Bibl. 57, p. 800). C'est également l'interprétation adoptée sur les récentes cartes géologiques (Bibl. 79). KUENEN admet pareillement l'absence de dépôts coralliens récents ou quaternaires dans la constitution de ces îles (Bibl. 42, p. 40—41). Mais ce qu'il importe de retenir dans le problème qui nous occupe maintenant, c'est à nouveau la persistance dès le Tertiaire et jusqu'à l'époque actuelle — car comme on l'a vu, sur le pourtour de ces îles, des récifs importants continuent à se développer — de mêmes conditions de sédimentation.

Subsidence actuelle et passée.

Par rapport à d'autres régions de l'Insulinde, plateforme de la Sonde et plus encore, archipel des Moluques, la plateforme du Sahoul a été souvent considérée comme un domaine particulièrement stable. En réalité elle est également soumise à des subsidences suivies de soulèvements, mais le tout accuse des amplitudes plus faibles, qui se traduisent, dans le cas plus général de l'affaissement, par la faible épaisseur des dépôts du Tertiaire et de l'époque actuelle. Ces mouvements semblent d'ailleurs se poursuivre tout comme dans la plateforme de la Sonde.

Sur la partie méridionale de la Nouvelle-Guinée, l'existence d'estuaires profonds et larges à la marge des plaines alluviales implique un affaissement du seuil continental. Selon ZWIERZICKI (Bibl. 80), ces affaissements seraient encore plus sensibles dans certaines dépressions internes de l'énorme plateforme alluviale. C'est ainsi qu'à 200 km à l'intérieur des terres la rivière Wildeman offrirait des profondeurs de 32 m, alors que sur la côte E de la plateforme alluviale, les fleuves Eilanden et Digoel n'auraient que 12 m à leur embouchure dans la mer. Selon ce géologue également, le mouvement de subsidence ne serait pas général: certaines portions paraissent stables ou plus exactement soumises à des affaissements plus restreints. Il semble en être ainsi du massif de Fak-Fak, au S du golfe de Mac-Cluer de même que de la région située au N de Merauke où un affaissement plus restreint que celui des domaines environnants semble avoir déterminé la séparation du réseau hydrographique: le fleuve Digoel qui aboutit sur la côte W est aujourd'hui séparé de la Fly-River qui coule vers l'E par un seuil dépassant seulement de 30 m le niveau de la mer.

Au contraire, les côtes septentrionales de la Nouvelle-Guinée montrent partout des traces d'un soulèvement continu, tout comme les côtes océaniques de Sumatra et de Java.

Le même phénomène d'affaissement se fait sentir sur l'ensemble de la partie australienne du Sahoul. Selon ZWIERZICKI également, l'affaissement serait particulièrement sensible aux îles Aroe (Bibl. 79). Il se fait pareillement sentir le long des côtes NW de l'Australie: d'après les géologues australiens, le caractère abrupt et rocheux des côtes ainsi que l'extrême découpure des rivages, en particulier dans la division de Kimberley, résulteraient d'un affaissement général qui se traduirait également sur le continent par la submersion des vallées (Bibl. 13, p. 10).

III. L'archipel des Moluques.

Conditions bathymétriques.

Entre l'aire sud-asiatique avec son plateau sous-marin et l'aire australienne agrandie de la plateforme du Sahoul, s'étend l'archipel des Moluques, dont l'aspect morphologique des terres et les conditions bathymétriques des mers offrent des caractères très spéciaux, sans analogie avec les conditions générales de relief précédemment décrites. Ici règne un système compliqué de bassins et de sillons profonds, bordés d'îles relativement étroites et à relief montagneux très marqué.

Si on laisse de côté un dernier groupe qui comprend de petits bassins à caractères variés, on aurait selon KUENEN (Bibl. 43) quatre grands types de dépressions marines qui par leur forme et leur bathymétrie s'organiseraient ainsi:

1er groupe: bassins larges et profonds, plus ou moins rectangulaires, à talus rapide, à fond océanique plat et profond (environ 5000 m): bassins de Sulu, de Célèbes, de Nord- et Sud-Banda.

2me groupe: Bassins allongés ou ovales, à talus rapide, à fond océanique plat, mais moins profond que ceux du groupe 1 (environ 2000 m): détroit de Makassar, golfes de Bone et de Tomini.

3me groupe: bassins ovales ou allongés, à talus rapide, à fond océanique plat en coupe transversale, mais concave en coupe longitudinale et dont le point le plus bas peut n'atteindre que 1000 m dans un bassin, dépasser 7000 m dans un autre: sillon de Weber, bassin de Savoe, mer du S de Java.

4me groupe: bassins en forme de sillons souvent étroits et allongés, à talus à pentes continues et graduelles, à fond océanique plus ou moins large, mais dont l'axe est soumis à des oscillations répétées qui font varier considérablement la profondeur d'un même bassin: sillons de Java, de Timor, d'Aroe et de Ceram, mer des Moluques, sillon de Mindanao, mer de Flores.

La forme et la profondeur de ces bassins est donc très variée. Leur origine est probablement, elle aussi, assez diverse: selon KUENEN, certains résulteraient d'effondrements, d'autres seraient la conséquence de phénomènes de plissement. Mais tous accusent cependant un relief marin comparable et soumis à une sédi-

mentation très semblable dans l'ensemble, quoique sujette à de multiples variations suivant la situation géographique. Mais avant de considérer les caractères sédimentaires, il est nécessaire de préciser l'aspect morphologique de ces régions.

Cas de la plateforme marginale. — Alors que dans les aires continentales précédemment décrites, la plateforme continentale, extrêmement vaste, forme l'unique élément marin, ici elle n'est plus qu'un élément secondaire. Elle n'offre une certaine importance que dans l'intervalle reliant certains groupes d'îles, et encore sans jamais montrer l'ampleur acquise dans le domaine des aires continentales. Le plus souvent elle atteint une extension horizontale de quelques kilomètres et parfois se réduit à une simple frange de quelques centaines ou même de quelques dizaines de mètres.

C'est ainsi que dans la mer septentrionale de Banda, on voit cette plateforme n'atteindre une certaine largeur qu'en certains points des côtes orientales de Célèbes (golfe de Tomini et archipel de Salabangka) et dans le secteur reliant l'archipel de Peling à Soela. En général elle se ramène à un étroit trottoir sous-marin mesurant parfois moins de 100 m et qui par des pentes rapides de 10° à 20° aboutit rapidement au talus maritime et à la région abyssale. Ces conditions bathymétriques apparaissent bien nettement sur certains profils donnés par KUENEN (Bibl. 43) et VAN RIEL (Bibl. 56). Par exemple, sur la côte SW de Boeroe on constate près des rivages des pentes de 26° et, à 20 km de la côte, règnent des profondeurs de 5000 m (Bibl. 56, p. 36—37, fig. 15). Des exemples analogues se retrouvent dans la plupart des autres bassins.

Cas du talus maritime et des fonds abyssaux. — Grâce à l'expédition du *Snellius* on est aujourd'hui tout particulièrement bien renseigné sur les zones bathymétriques profondes des mers entre Bornéo et la Nouvelle-Guinée. C'est ainsi que KUENEN a donné plus de 100 profils de ces bassins (Bibl. 43). Avec une netteté souvent remarquable on est à même de distinguer les deux éléments fondamentaux des fonds océaniques, d'une part le talus continental, ou plus exactement le talus maritime — car il s'agit d'un domaine qui ne dépend plus directement des aires continentales, comme c'est le cas des plateformes, mais déjà du domaine franchement océanique —, puis la région pélagique ou mieux encore, région des fonds abyssaux, car ici aussi le terme de pélagique pour désigner les domaines marins faisant suite au talus maritime n'est pas sans prêter à confusion à cause du sens bien différent donné au mot pélagique par les biologistes.

Si l'on considère d'abord le talus maritime, on constate que dans la division des bassins établis par KUENEN et que j'ai résumée auparavant, les trois premiers groupes de bassins montrent un talus raide et qui a son expression la meilleure dans la mer de Célèbes. Dans le 4^{me} groupe au contraire on trouve un talus à pentes modérées et qui passe insensiblement à la région abyssale: un exemple bien net est fourni par le sillon de Timor. Mais partout on voit ce talus dépasser nettement l'isobathe de 1000 m: c'est ainsi que dans le premier groupe il se soude par des profondeurs de 3000 à 4000 m au fond abyssal presque horizontal, dans le second groupe déjà vers 2000 m.

Si le talus maritime acquiert une certaine importance dans les domaines qui prolongent les plateformes de la Sonde et du Sahoul et sur le pourtour de Célèbes, dans le reste de l'archipel l'élément bathymétrique principal est constitué par les fonds abyssaux. Les profondeurs de 4000 et 5000 m occupent de vastes surfaces dans les principaux bassins, tout spécialement dans celui de Célèbes. La zone la plus profonde est située dans le bassin de Weber avec la profondeur maximale de 7440 m. Mais dans l'ensemble et quelle que soit la profondeur moyenne de chacun des bassins, on constate en se basant sur les

cartes bathymétriques, sur les profils et sur la description détaillée de chaque bassin donné par VAN RIEL (Bibl. 56), un relief sous-marin assez divers, offrant parfois de vastes portions pratiquement horizontales, d'autres à configuration très irrégulière. Dans ce dernier cas, les pentes des fonds abyssaux peuvent être assez fortes et ne guère différer de celles de régions continentales moyennement accidentées.

La sédimentation actuelle.

A cause des aspects morphologiques des terres et des conditions bathymétriques des mers, on assiste dans l'archipel des Moluques à une sédimentation très différente de celle qui règne sur les plateformes de la Sonde et du Sahoul. Car, comme le fait remarquer très justement KUENEN (Bibl. 43, p. 58), les caractères morphologiques se traduisent immédiatement dans les séries stratigraphiques.

Dépôts de la plateforme marginale. — La réduction de la plateforme à la marge des îles et le caractère particulier de l'alluvionnement vont donner naissance à des types bien particuliers de dépôts littoraux.

a) *Type terrigène.* Aucun fleuve important n'aboutit dans les mers de l'archipel. Toutefois des rivières à fortes charges alluviales amènent des quantités considérables de matériaux fins, souvent par l'intermédiaire de plaines côtières d'une certaine étendue, comme à Célèbes les plaines alluviales au N du golfe de Bone, celles, plus restreintes, au N de la baie de Tomori et dans la région de Toeli (Bibl. 44), et, sur la côte W, celle de la région de Mamoedjoe. Toutefois, dans l'ensemble, il s'agit de rivières courtes, à fortes pentes, à crues extrêmement violentes, qui apportent aux côtes, en plus des limons abondants, des matériaux plus grossiers, galets, graviers et sables. D'une manière générale, la sédimentation terrigène sur de telles plateformes offre un format plus grossier des apports terrigènes. En outre l'abrasion de côtes rocheuses bordant la plupart des rivages accentue encore ce type particulier de sédimentation littorale.

b) *Type organogène.* Cette sédimentation, accessoire sur la plateforme de la Sonde, joue ici un rôle considérable, sous la forme de récifs coralliens atteignant parfois de grandes extensions horizontales.

Dans la mer septentrionale de Banda, on constate un peu partout, entre l'embouchure des rivières où règne le type terrigène, de longues zones bordées de récifs frangeants, puis, là où la plateforme atteint une certaine extension, on observe le développement de vastes récifs barrières, comme c'est le cas autour des îles Salabangka, entre Kendari et Kolonedale, puis à l'E du golfe de Tomori où ils forment une barrière très continue.

Ces récifs accusent pareillement une grande extension entre le bord oriental de la plateforme de la Sonde et la partie S de Célèbes, avec la grande barrière de la Sonde, les archipels des Spermondes, des Paternoster et des îles Tÿger, et plus à l'E, avec le groupe bien connu des îles Toekang besi.

On trouvera d'ailleurs dans les travaux de NIERMEYER, de WICHMANN, de ESCHER, de UMBGROVE, de KUENEN d'abondants détails sur la nature et l'extension des récifs coralliens dans l'Insulinde et plus spécialement dans l'archipel des Moluques de sorte qu'il est inutile d'insister plus longuement sur ce type de dépôts.

Dépôts du talus maritime et des fonds abyssaux.

a) *Les apports terrigènes.* Là où la plateforme est très réduite, également à l'embouchure de certaines rivières à fortes charges alluviales, une partie des alluvions va dépasser le domaine de la plateforme pour venir s'accumuler sur le talus maritime et jusque dans les fonds abyssaux. Sur le talus l'apport peut

être assez grossier et comporter en abondance des sables alors que les limons seuls atteindront les régions plus profondes. Egalement sur les seuils souvent profonds qui séparent les différents bassins, plus spécialement soumis à des courants marins profonds, on observe des dépôts très divers, tels que des débris de coraux et de roches, des graviers et des sables (Bibl. 56, p. 54).

A Célèbes, dans le golfe de Tomini, entouré presque partout de côtes abruptes et alluvionné par des rivières particulièrement torrentielles, il est évident qu'une bonne partie des dépôts terrigènes débordent l'étroite plateforme pour venir s'accumuler dans des régions profondes de 1000 à 2000 m qui constituent la totalité du bassin.

Il est de même assez certain qu'une fraction importante des vases terrigènes charriées à la mer par les fleuves puissants du NE de Bornéo peuvent déborder la plateforme continentale là où elle est relativement peu étendue et venir se décanter sur le talus maritime de la mer de Célèbes. Ceci expliquerait peut-être l'absence de récifs-barrières dans cette partie de la plateforme orientale de Bornéo. Il faut toutefois noter qu'on manque de données précises à ce sujet.

Selon BÖGGILD (Bibl. 14) l'argile qui recouvre les fonds de plus de 4000 m des bassins de Banda et de Célèbes serait essentiellement d'origine terrigène. Egalement les vases à Globigérines sont presque toujours fortement mélangées à des dépôts terrigènes.

Dans de vastes portions des bassins de l'Insulinde le fond de la mer est recouvert de cendres volcaniques. Remarquons une fois pour toutes qu'on ne peut pas utiliser les dépôts d'origine volcanique pour caractériser un type sédimentaire quelconque, les cendres volcaniques projetées lors des éruptions se déposant aussi bien sur les régions continentales que dans le domaine marin et dans ce dernier, s'accumulant soit sur la plateforme, soit sur le domaine du talus et des fonds abyssaux. Mais en tant que produits de l'érosion des reliefs continentaux volcaniques, ces cendres charriées par les rivières vers la mer formeront des limons particulièrement fins qui pourront se décanter très loin au large des côtes.

b) *Les apports océaniques.* Nous ne sommes jusqu'à présent qu'imparfaitement renseignés sur la nature et l'importance des dépôts océaniques d'origine organique ou chimique qui s'accumulent dans les parties profondes de l'archipel des Moluques. Toutefois les résultats fournis par l'expédition du *Siboga*, en particulier par BÖGGILD (Bibl. 14) complétés par un court aperçu de ANDRÉE en 1920 (Bibl. 3, p. 542—546), par un autre plus détaillé paru en 1922 et dû à M. WEBER (Bibl. 74), enfin par certains résultats préliminaires de l'expédition du *Snellius* permettent de se rendre compte des faits essentiels.

Dans l'ensemble ce type de dépôts profonds est constitué par des boues bleues à teneur en calcaire, par des vases à Globigérines, par quelques vases franchement siliceuses. Par contre les vases à Diatomées, les boues à Radiolaires et les argiles rouges, communes dans les océans bordiers, semblent faire défaut dans l'archipel.

Dans la mer de Banda les fonds abyssaux sont essentiellement recouverts par une vase grise ou verte accompagnée d'une vase foncée, plus fluide, servant d'abri au benthos (Bibl. 25).

Dans la mer de Célèbes, les dépôts varient indépendamment des conditions bathymétriques, car dans la partie occidentale dominant les vases terrigènes, dans la partie E les boues volcaniques.

En résumé, on constate dans l'ensemble de l'archipel des Moluques un caractère particulier de la sédimentation océanique qui diffère sensiblement de celle des domaines propres aux grands océans en ce sens qu'il y a une participation beaucoup plus active des apports terrigènes et exclusion de certains dépôts communs dans les grands océans (boues à Radiolaires, etc.).

Il faut également noter le cas de la réduction de la teneur en CaCO_3 dans les bassins profonds de l'Insulinde (voir tableau comparatif pour les océans et les bassins de l'Insulinde dans Bibl. 52, p. 347, tableau reproduit par RUTTEN, Bibl. 58, p. 266), un phénomène sur lequel MOLENGRAAFF a spécialement insisté et qu'il a essayé d'expliquer sans toutefois trouver une solution satisfaisante.

Il est probable — et cette hypothèse est aussi envisagée par MOLENGRAAFF, mais sans être admise — que cette réduction considérable des dépôts calcaires provient d'une part d'une participation anormalement haute des apports terrigènes dans les bassins profonds de l'archipel, mais surtout d'une circulation très difficile des courants profonds marins à cause de seuils variés qui isolent plus ou moins ces bassins. Nous verrons tout à l'heure un cas particulier où deux bassins voisins, à profondeurs abyssales très semblables, présentent des conditions extrêmes et tout à fait opposées dans leur teneur en calcaire, si bien que cette anomalie en calcaire n'est en fait réalisée que dans certains bassins.

M. WEBER a aussi attiré l'attention sur les différences d'ordre biologique et paléontologique de ces fonds marins où l'on a constaté des faunes communes sur les rivages, parfois même des restes de végétaux, et inversement, des faunes apparemment profondes associées à des organismes littoraux (Bibl. 74, p. 238 et suiv.). Il en est de même des Globigérines qui forment des dépôts tantôt très purs, tantôt abondamment mélangés avec des éléments détritiques, et ceci à des profondeurs les plus diverses.

Importance secondaire des conditions bathymétriques. En effet, dans l'ensemble de l'archipel des Moluques les conditions bathymétriques ne peuvent jouer un rôle bien défini dans la distribution des dépôts profonds, comme c'est le cas dans le domaine des grands océans. Car ici la distribution de ces dépôts est essentiellement fonction des conditions morphologiques imprimées par les reliefs insulaires qui ont morcelé les mers en une quantité de bassins profonds. Selon l'abondance de l'alluvionnement terrigène et la largeur du bassin, on trouvera les mêmes matériaux détritiques aussi bien sur le talus que sur les fonds abyssaux, ou également des matériaux tout différents dans des bassins apparemment semblables.

L'expédition du *Snellius* a fourni à ce sujet un exemple bien caractéristique (Bibl. 43, p. 54). Bien que les fonds abyssaux des bassins de Sulu et de Célèbes se tiennent tous deux autour de 5000 m, ils offrent des conditions sédimentaires très différentes. Alors que dans la mer de Sulu le socle abyssal est recouvert de boues à Globigérines, celui de la mer de Célèbes en est tout à fait dépourvu: elles n'apparaissent dans cette mer que sur le talus maritime. Selon KUENEN la raison de cette différence si complète dans la sédimentation abyssale doit provenir vraisemblablement du fait que la mer de Sulu est coupée de l'océan Pacifique par un seuil très peu profond, atteignant 300 m, alors que la mer de Célèbes est en relation beaucoup plus ouverte avec cet océan par un seuil large et profond de 1500 m, ce qui permet aux eaux océaniques une circulation plus aisée. Comme le fait remarquer KUENEN, la nature des dépôts profonds dans la mer de Sulu ne permet donc aucunement de savoir a priori s'il s'agit de dépôts accumulés à quelques centaines de mètres ou sous une profondeur de plusieurs milliers de mètres.

Il est également probable que les bassins de Florès et de Savoe, bien qu'appartenant à des domaines marins bien plus profonds que celui qui constitue le golfe de Tomini, ne présentent pas des différences bien essentielles dans la nature de leurs dépôts abyssaux, car tous ces bassins sont géographiquement dans des conditions très analogues.

Conditions tectoniques et sédimentaires au Néogène et au Quaternaire.

Les dislocations terminales du cycle orogénique alpin ont affecté la plateforme de la Sonde et l'aire sud-asiatique en déterminant en particulier le plissement des séries tertiaires sous forme de lignes anticlinales accusant dans l'ensemble un style jurassien assez constant. Les études détaillées dues spécialement aux recherches des compagnies de pétrole, également l'exploration systématique du SERVICE DES MINES DES INDES NÉERLANDAISES ont montré l'existence de complications assez grandes dans certaines régions, mais qui dans l'ensemble ne dépassent pas l'intensité des dislocations qu'on observe dans certaines

parties du Jura plissé oriental. Il est vrai que ces dislocations dans l'Insulinde portent sur des séries sédimentaires infiniment plus épaisses et qui ont exigé une énergie bien plus considérable. Par contre les effets de ce même cycle orogénique sur la plateforme du Sahoul et sur l'aire N-australienne sont très modérés, car comme on l'a vu dans le cas des îles Aroe, les formations néogènes sont demeurées horizontales ou témoignent d'inclinaisons très faibles.

Par contre dans l'archipel des Moluques l'intensité du cycle terminal alpin est plus considérable. Remarquons à ce sujet que les nappes d'une amplitude d'ailleurs limitée signalées depuis longtemps à Timor d'abord, puis à Ceram et dans d'autres îles de l'arc externe des Moluques (îles de Kei et de Kamdena, selon F. WEBER (dans Bibl. 80, p. 364) datent d'un plissement tertiaire antérieur, probablement du Néogène moyen et qui correspond à un paroxysme particulièrement intense. On a également signalé à Célèbes des recouvrements importants sur le Tertiaire supérieur, mais il est mieux ici de réserver son jugement.

C'est ainsi que le charriage de roches basiques sur le Mio-Pliocène de la côte S décrit par KOOLHOVEN (Bibl. 39) dans le bras NE de Célèbes provient de l'interprétation erronée de certains affleurements et n'existe pas, ainsi que j'ai pu le constater lors d'une exploration régionale effectuée dans cette région en 1928. De même l'existence de vastes recouvrements dans les montagnes de Tokala et plus spécialement au N de Boengkoe, tels que les a décrits en 1934 L. VON LOCZY (Bibl. 49), demande une confirmation plus sérieuse avant de pouvoir être admise.

Cependant, sans avoir atteint l'intensité des dislocations observées avec certitude dans le domaine des Alpes, les dislocations de la fin du Tertiaire correspondent à une période de plissements très importants, car soit le relief actuel, soit la bathymétrie complexe des mers dépendent essentiellement de ce cycle orogénique, qui d'ailleurs s'est prolongé avec de grands effets verticaux accompagnés d'intenses éruptions volcaniques durant tout le Quaternaire et l'époque actuelle.

ARLDT a tenté, à l'aide de documents surtout d'ordre biogéographique, de reconstituer l'apparition successive de divers éléments morphologiques et bathymétriques du domaine de l'Insulinde (Bibl. 9, 1, p. 633): sa tentative reste soumise à bien des modifications ultérieures.

Toutefois, malgré ces dislocations et les modifications constantes du relief de l'archipel, on constate ici aussi une persistance remarquable des conditions sédimentaires, surtout à partir du Néogène jusqu'à l'époque actuelle.

a) Formations continentales. Le développement limité des plaines maritimes actuelles se retrouve dans les dépôts néogènes de l'archipel où les formations à lignite ne jouent qu'un rôle très accessoire vis-à-vis de ce qui s'observe sur l'aire continentale sud-asiatique.

b) Formations coralliennes. Par contre les récifs coralliens, si caractéristiques des régions peu profondes de l'archipel actuel, ont également été abondants au Néogène. La difficulté signalée auparavant sur la plateforme de la Sonde de fixer des limites entre les dépôts charbonneux du Néogène, du Quaternaire et de l'époque récente se retrouve ici avec les formations récifales.

Dans le NE de Célèbes, toute la presqu'île de Boalemo qui s'étend au S d'une ligne allant de la baie de Basana jusqu'à Balantak est recouverte d'une carapace presque continue de roches coralliennes formées surtout de calcaires, mais aussi avec des intercalations de schistes à Globigérines et de quelques conglomérats. Une partie de ces roches datent, comme le prouve la présence de Miogypsines, du Miocène, d'autres appartiennent au Pliocène et surtout au Quaternaire, sans qu'il soit le plus souvent possible de fixer une limite un peu précise à cause de la persistance des mêmes faciès à travers les étages géologiques. On voit d'ailleurs ces calcaires passer sans

limites bien tranchées aux récifs frangeants actuels. L'argument tectonique fourni par des discordances entre le Néogène et le Quaternaire est d'ailleurs souvent en défaut. En effet, alors que les formations éocènes et oligocènes (avec l'Aquitainien) sont généralement très redressées — un exemple magnifique est fourni par le profil le long de la route Poh-Biak et par les affleurements le long de la mer, au N de Balantak — les formations du Tertiaire supérieur sont modérément inclinées et l'on passe insensiblement du flanc peu redressé des anticlinaux aux dépôts quaternaires soulevés et faillés. Toutefois au N de Biak-Loewoek, la transgression en discordance des calcaires coralliens quaternaires sur le Mio-Pliocène est manifeste du fait que dans cette région le Tertiaire supérieur est représenté par un faciès différent, à type gréseux et conglomératique. Mais là où le Tertiaire supérieur est à faciès corallien — et c'est le cas dans la presqu'île de Boealomo — l'établissement de limites stratigraphiques est, comme nous l'avons dit plus haut, très difficile et souvent tout à fait approximatif.

c) *Formations terrigènes.* Il faut toujours remarquer que la sédimentation qui règne dans l'ensemble des Moluques est beaucoup moins exclusive que celle, très uniforme, qui caractérise les vastes plateformes de la Sonde et du Sahoul. C'est ainsi que la sédimentation littorale est représentée non seulement par les faciès coralliens, mais également par des formations franchement terrigènes et l'on voit en quelque sorte ces deux types sédimentaires alterner et latéralement s'intriquer l'un dans l'autre. Nous avons déjà vu ce cas complexe réalisé le long des côtes actuelles, où l'existence d'une plateforme marginale d'une certaine étendue permet un développement local de récifs frangeants et de récifs barrières, qui rappelle la sédimentation propre à la plateforme du Sahoul, tandis qu'à l'embouchure de rivières d'une certaine importance, on assiste au développement de plaines maritimes d'une extension limitée et qui offrent des conditions de dépôts très analogues à certaines plaines alluviales de Bornéo et de Sumatra. Toutefois le matériel détritique est dans ces plaines maritimes de l'archipel d'un type en général plus grossier à cause de la proximité des reliefs.

Ces mêmes conditions se retrouvent dans le Néogène de l'archipel, en particulier à Célèbes, dans une formation nettement terrigène et bien connue sous le nom de « Molasse de Célèbes », que lui a donné SARASIN. C'est l'équivalent néogène des plaines côtières actuelles, à extension limitée, de Célèbes: car au lieu de s'étendre sur de très vastes plateformes continues, on voit cette formation répartie dans un certain nombre de bassins locaux.

Dans le bras NE de l'île, elle est disséminée dans un certain nombre de petits bassins au N du golfe de Tolo (Bibl. 49, p. 258), puis constitue le remplissage d'un autre bassin plus important situé à l'W et au N du détroit de Peling (bassin de Toili-Hanga). On la retrouve dans l'W de Célèbes où elle forme le bassin de Mamoejoe, puis dans le S (bassin de Tempe), offrant là une épaisseur d'environ 3000 m (Bibl. 57, p. 640). Sa composition pétrographique est très variable, tantôt formée de schistes et de grès, tantôt de conglomérats épais (région de Loewoek-Biak). La participation des formations de milieux saumâtres et continentaux est beaucoup plus restreinte que sur la plateforme de la Sonde de sorte qu'on n'y observe qu'un développement modéré et très local des formations bitumineuses et la présence de rares bancs de lignite, peu épais et peu étendus. Latéralement on voit cette molasse passer progressivement au faciès corallien.

Le passage latéral du type détritique au type corallien ou récifal s'observe particulièrement bien dans l'extrémité du bras NE de Célèbes. Déjà près de Biak (N du détroit de Peling) on constate quelques intercalations de calcaire corallien dans la série conglomératique et gréseuse, et plus à l'E, dans la presqu'île de Boealomo, on assiste à leur remplacement total par des formations récifales (voir plus haut). Le même phénomène s'observe dans l'archipel de Banggai, où des grès souvent très fossilifères couvrent la côte W de Peling, alors que vers le centre de l'île et sur le versant E le faciès corallien se substitue entièrement au faciès détritique.

Egalement le Pliocène de Ceram, connu sous le nom de « Couches de Foefa » résulte de ce type sédimentaire: dans l'ensemble il s'agit de dépôts franchement côtiers, avec beaucoup de bancs de conglomérats. Ces couches, épaisses parfois de plus de 500 m et qu'on trouve formant des affleurements dispersés, paraissent résulter du remplissage de petites plaines maritimes. Latéralement le Pliocène est représenté par des formations récifales ainsi que par des marnes à Globigérines et des grès marins, ces deux dernières formations représentant vraisemblablement des faciès plus profonds.

d) *Formations marines profondes (Faciès bathyal et abyssal)*. En général on s'est refusé à considérer les schistes, les calcaires et les marnes à Globigérines des formations tertiaires de l'archipel comme des dépôts de mers profondes. On s'est basé pour cela sur le caractère souvent gréseux de ces roches et sur leur intrication d'une part avec les calcaires coralliens, d'autre part avec des séries de grès et de conglomérats. C'est ainsi que UMBGROVE croit pouvoir nier à partir du Mésozoïque l'existence de faciès profonds dans l'ensemble de l'archipel (Bibl. 78).

Mais l'étude des conditions sédimentaires qui règnent maintenant dans l'archipel des Moluques ne paraît nullement confirmer ce point de vue trop absolu. Il est évident que dans certain cas ces roches à microforaminifères se sont déposées sur le domaine de la plateforme. Mais dans l'ensemble il semble bien que la majeure partie de ces roches résultent d'accumulations dans des conditions bathymétriques et sédimentaires analogues à celles qui se présentent aujourd'hui dans les bassins profonds de l'archipel et que nous avons décrites précédemment plus en détail. L'absence de radiolarites dans les dépôts tertiaires de l'Insulinde et leur présence par contre dans certains sédiments jurassiques ne justifient nullement — et je reviendrai encore dans la suite sur ce point — l'exclusivité du domaine bathyal et abyssal durant le Mésozoïque, en association d'ailleurs avec d'autres faciès, sa disparition totale au Tertiaire, enfin sa réapparition vers la fin des temps tertiaires dans les bassins profonds actuels.

En fait les formations profondes sont assez fréquentes dans les séries néogènes de l'archipel et, comme j'ai dit plus haut, elles sont essentiellement constituées par des roches à Globigérines et autres microforaminifères. Tantôt presque exclusivement formées de l'accumulation du plancton, tantôt fortement additionnées de matériaux détritiques fins, elles peuvent accuser souvent des épaisseurs considérables. Leur association fréquente avec des formations côtières qui a fait douter de leur origine profonde s'explique sans difficulté si l'on tient compte des conditions géographiques très spéciales qui ont présidé à leur dépôt et résultant comme on l'a déjà vu d'une plateforme en général très réduite et soumise à un alluvionnement très intense et de la présence du talus maritime et des fonds abyssaux à proximité des rivages.

Dans le S de l'île de Boeton, on a dans le Néogène une série assez épaisse de grès, de marnes sableuses et de schistes calcaires, avec localement des conglomérats, le tout surmonté par des marnes à Globigérines et des calcaires blanchâtres, en partie un peu coralligènes et paraissant encore appartenir au domaine néritique, mais en partie franchement crayeux et marneux et provenant certainement de zones bathymétriques assez profondes. Des formations analogues s'observent dans la plupart des îles de l'archipel. C'est ainsi qu'à Timor le Pliocène est représenté par les sédiments les plus variés, calcaires à Globigérines, calcaires sableux, calcaires coralliens (Bibl. 57, p. 696), ce qui montre combien cette sédimentation a été complexe et soumise à l'existence de conditions bathymétriques très diverses.

IV. Les rivages océaniques.

Dans l'ensemble ces régions offrent, du point de vue bathymétrique comme du point de vue sédimentaire, des conditions très semblables à celles décrites pour l'archipel des Moluques. Aussi cela me permettra-t-il d'être bref.

Conditions bathymétriques.

Dans le domaine de l'océan Indien ces conditions sont connues depuis longtemps. D'une façon globale, le relief continental avec les hautes chaînes de Sumatra et de Java adossées au domaine océanique, de même que la faible amplitude des plaines alluviales côtières, trouve son équivalent dans le relief sous-marin immédiatement voisin.

La plateforme continentale est aussi du type des plateformes marginales. Sur la côte orientale de Sumatra elle atteint une certaine largeur à l'E de l'archipel formé par les îles Batoe-Nias-Banjak. Partout ailleurs elle se réduit à une zone étroite, mesurant quelques centaines de mètres à quelques kilomètres.

Au S de Java, également jusqu'au S de Soemba, le talus maritime est très régulier. Il se complique à l'W de Sumatra, du fait que la cordillère insulaire externe qui des Nicobares se prolonge jusqu'à Enggano détermine au SE un dédoublement de ce talus (Mentaweitrog de MOLENGRAAFF).

Les régions abyssales sont à l'W de Sumatra situées au delà de la cordillère externe. Au S de Java, une crête sous-marine, prolongement direct de cette cordillère et qui atteint des profondeurs minimales de 1200 m, détermine l'existence des deux sillons bien connus du S de Java, le plus septentrional offrant des profondeurs moyennes de 3000 à 5000 m, tandis que le sillon méridional ou « fosse de Java » des géographes (Soenda-trog de MOLENGRAAFF) est toujours très profond (5000 à 7000 m).

Sur les rivages pacifiques règnent aussi des conditions très analogues à celles des rivages indiens de l'Insulinde, avec naturellement certains caractères plus particuliers résultant de la segmentation considérable de la barrière insulaire entre Mindanao et la Nouvelle-Guinée.

La plateforme continentale reste partout très peu étendue. Le talus maritime, réduit et très raide, qui borde Mindanao s'élargit un peu à l'E de Halmaheira et au N de la Nouvelle Guinée. Quant aux régions abyssales elles trouvent leur expression la plus marquée dans la fosse de Mindanao, où un sondage acoustique effectué en 1927 a décelé une profondeur de 10830 m, profondeur océanique la plus grande connue jusqu'à présent.

Conditions sédimentaires.

Dans le domaine de l'océan Indien l'asymétrie morphologique de Sumatra et de Java, résultat de la position des hauts reliefs au voisinage des rivages océaniques, se traduit, comme je l'ai dit auparavant, par une sédimentation très analogue à celle décrite dans les Moluques. Il en est sensiblement de même pour les rivages pacifiques.

Dépôts terrigènes. L'apport fluvial, à caractère souvent torrentiel, amène sur la plateforme marginale des dépôts souvent grossiers, en tout cas riches en sables. Quant aux limons et aux vases terrigènes, associés parfois à des sables, ils doivent déborder souvent l'étroite plateforme pour s'accumuler, soit sur le talus, soit, dans le cas de Java et de Mindanao, jusque dans les fosses abyssales.

Dépôts d'origine marine et océanique. L'étroitesse de la plateforme marginale et l'alluvionnement constant sur la plupart des rivages ne permettent qu'un développement modéré des formations récifales sauf à l'W de Sumatra, où des conditions bathymétriques rappelant celles des Moluques ont abouti à la formation de récifs barrières.

Le gros de la sédimentation semble résulter surtout de la participation de dépôts océaniques. Mais l'absence presque totale de cordillère insulaire et l'extension limitée de seuils sous-marins doivent évidemment donner naissance à des dépôts océaniques sensiblement différents de ceux qui s'effectuent dans les bassins abyssaux de l'archipel des Moluques, isolés les uns des autres par des cordillères insulaires et séparés des grands océans par des crêtes sous-marines souvent peu profondes. En particulier la participation des boues rouges et probablement aussi des boues à Radiolaires, très communes notamment dans le Pacifique, doit déterminer un type très particulier de dépôts profonds.

On est encore très mal renseigné sur la sédimentation océanique de l'Insulinde en bordure des océans. Pour Sumatra, les quelques données précises proviennent de sondages très isolés effectués par le *Valdivia* (Bibl. 38, carte VII, et tableau, p. 344—345). Pour Java et pour le domaine pacifique, les cartes des dépôts abyssaux montrent une accumulation résultant soit du dépôt de vases à Globigérines dans les zones abyssales à profondeur moyenne, de boues rouges pour les zones très profondes.

B. Les conditions sédimentaires actuelles dans l'Amérique centrale.

Les conditions bathymétriques et sédimentaires qui règnent aujourd'hui dans le domaine atlantique de l'Amérique centrale et dans les Antilles offrent des aspects très analogues à ceux que j'ai décrits pour les mers de l'Insulinde. Cela me permettra d'esquisser simplement le problème sédimentaire actuel, sans entrer dans aucun détail.

Les plateformes continentales du golfe du Mexique.

L'opposition dans la sédimentation actuelle entre les plateformes du Sahoul et celle de la Sonde pour le domaine de l'Insulinde se retrouve de façon très analogue dans la région du golfe du Mexique.

Sur la plateforme de la Gulf Coast, prolongement direct des plaines du Texas et du Mississipi et qui, large de 50 à 80 km à l'E de New Orleans, dépasse 200 km au S du Texas, dominant les conditions de dépôts propres aux grandes plaines maritimes à alluvionnement essentiellement terrigène, avec prédominance très marquée des apports limoneux. Ceci apparaît bien clairement dans la progression constante du delta du Mississipi et dans la nature des côtes de part et d'autre de ce delta. Des conditions assez semblables quoique modifiées par la réduction de la plateforme et des plaines alluviales et par l'existence d'un relief plus accentué non loin des rivages se retrouvent sur une bonne partie des côtes occidentales du golfe du Mexique.

Au contraire, sur la plateforme du Campêche ou du Yucatan, elle aussi très large et en général peu profonde, l'apport terrigène est presque nul. Aucune rivière importante n'y aboutit et le régime karstique de la presque totalité du Yucatan réduit au minimum la participation des matériaux clastiques dans la sédimentation marine. Les dépôts de cette plateforme sont essentiellement d'origine récifale et se traduisent soit directement par des calcaires coralliens,

soit par des vases calcaires dérivant de ces récifs. Des conditions très analogues de sédimentation dominent pareillement sur la plateforme de la Floride et des Bahama.

L'archipel des Antilles.

Ici également les conditions bathymétriques et sédimentaires sont très analogues à celles qui caractérisent l'archipel des Moluques. Les îles, étroites et montagneuses, n'ont que des plaines alluviales limitées et d'extension locale. La plateforme continentale est en général très réduite et du type des plateformes marginales décrites auparavant dans l'Insulinde. Elle n'atteint une certaine largeur que dans la partie W du Cuba et dans les petites Antilles où elle forme le socle commun à certains groupes d'îles, comme les îles Leeward. Le plus souvent on passe rapidement et dans certains cas presque immédiatement aux fonds abyssaux par l'intermédiaire d'un talus maritime à pentes variées. C'est ainsi qu'au S de la Sierra Madre, on aboutit très brusquement à des profondeurs de 4000 m et près de Santa Cruz le talus maritime est si réduit qu'à 8 km de la côte règnent des profondeurs allant jusqu'à 4349 m (Bibl. 62, p. 4). Quant aux fonds abyssaux, ils apparaissent sous forme de bassins aux formes variées, tantôt étroits et allongés comme le sillon constituant la fosse de Bartlett dans l'axe du golfe profond de Honduras, avec des fonds de plus de 6000 m, ou celle de Brownson, au N de Porto Rico, où l'on atteint 8432 m, tantôt plus larges et à sols abyssaux plus étendus et moins profonds.

Il est évident que de telles conditions de relief et de bathymétrie vont se traduire immédiatement dans la sédimentation marine actuelle par des aspects tout différents de ceux qui caractérisent les plateformes continentales voisines. Comme dans les Moluques, les dépôts littoraux vont présenter deux types sédimentaires très différents mais alternant l'un avec l'autre et reliés par des passages progressifs. Les apports détritiques abondants vont constituer quelques plaines alluviales à matériaux fins, dans l'ensemble cependant former des accumulations de dépôts grossiers le long des côtes montagneuses. D'autre part les formations récifales, développées non plus sur de vastes seuils, mais sur une étroite plateforme, sous forme de récifs frangeants, vont présenter des aspects lithologiques très particuliers. En outre, ces dépôts littoraux vont passer rapidement à des dépôts plus profonds et dans lesquels les limons terrigènes entraînés vers le large viendront s'ajouter dans des proportions très variables aux dépôts franchement organogènes tels que les vases à Globigérines.

Persistance des conditions sédimentaires depuis le Tertiaire.

De même que dans l'Insulinde, les conditions actuelles des dépôts marins dans l'Amérique centrale se retrouvent dès le Tertiaire sous des formes analogues et en général dans les mêmes domaines que maintenant. Sans entrer ici également dans aucun détail, on constate en gros trois types principaux de sédimentation marine correspondant aux trois types précédemment décrits pour l'époque actuelle.

Sédimentation de plaines alluviales maritimes. — Elle est réalisée dès l'Oligocène, parfois même dès l'Eocène, mais plus particulièrement à partir du Miocène dans le domaine situé au N de la plateforme actuelle du Mississipi, dans la Gulf Coast. Dans toute cette région, bien connue aujourd'hui grâce surtout aux multiples sondages pétrolifères qui y ont été effectués, les formations pliocènes et miocènes paraissent s'être déposées dans des conditions très semblables à celles des plaines maritimes actuelles. On y observe de grandes épaisseurs de

dépôts, une grande monotonie dans l'ensemble des faciès, essentiellement marins vers le S, à caractères nettement littoraux, à faciès saumâtres et continentaux vers le N, mais soumis à d'abondantes intrications avec les faciès néritiques, résultant d'oscillations locales dans la distribution de plaines maritimes peu profondes et de plaines continentales marécageuses faisant immédiatement suite au domaine marin.

Sédimentation de plateformes épicontinentales. — Le type sédimentaire actuel de la plateforme du Campêche se retrouve immédiatement plus au S, dans la presqu'île du Yucatan, immense plaque calcaire constituée au N par des dépôts récifaux pliocènes et en partie probablement déjà quaternaires (calcaire de Merida) et dans le centre de la presqu'île par des calcaires du Yucatan, essentiellement miocènes. La persistance des faciès coralliens à travers plusieurs époques rend d'ailleurs difficile toute délimitation stratigraphique précise. Tous ces calcaires s'inclinent faiblement vers le N et seules quelques failles, dont les plus importantes ont probablement donné naissance à la chaîne de Ticul, accidentent cette vaste région.

Il faut cependant noter que des sondages effectués près de Merida ont trouvé sous une couverture calcaire d'environ 200 m une série épaisse de marnes et de schistes avec intercalations de lits calcaires. Il semble toutefois qu'il s'agisse simplement d'une modification du faciès corallien vers un type un peu plus profond, probablement à la suite d'une subsidence un peu plus forte ayant amené le remplacement du faciès récifal propre aux plateformes très peu profondes (quelques dizaines de mètres) par un type pélagique, mais demeurant dans le cadre de la région néritique.

Des conditions analogues de sédimentation se retrouvent sur la plateforme de la Floride où des sondages ont traversé sur plus de 1000 m des calcaires coralliens d'âge tertiaire et créacé pour aboutir au substratum cristallin, qui constitue le socle de cette plateforme faisant face à celle du Yucatan. Le socle de cette dernière plateforme apparaît d'ailleurs aussi plus au S, dans le massif de Cockscomb.

Sédimentation d'archipels et de cordillères marines. — Le caractère d'archipel dans les Antilles résulte essentiellement du grand paroxysme orogénique qui s'est produit à l'Eocène, probablement à l'Eocène inférieur et qui a été accompagné le plus souvent de phénomènes magmatiques importants, se traduisant soit par la mise en place de roches éruptives profondes, soit par un développement considérable de roches volcaniques basiques. Les plissements ultérieurs, à l'Oligocène, au Miocène et au Pliocène semblent n'avoir atteint qu'une intensité limitée. Ils accusent cependant une certaine amplitude à la Jamaïque et à Barbados (paroxysme post-éocène), tandis qu'à Haïti et à Saint-Domingue ils se réduisent à des plissements modérés, ailleurs, notamment à Porto-Rico et dans une partie des petites Antilles (Leeward et Windward Islands) surtout à des soulèvements restreints accompagnés souvent d'éruptions volcaniques.

Ces diverses dislocations que je ne puis ici mentionner que sommairement n'ont dans l'ensemble guère modifié la sédimentation d'archipel qui à travers presque tout le Tertiaire se poursuit encore aujourd'hui dans ce domaine. Dans la plupart de ces îles les séries géologiques du Tertiaire offrent essentiellement des faciès marins très variés, tantôt nettement littoraux et grossiers, à conglomérats et grès, tantôt coralligènes, tantôt résultant du passage et de l'intrication de ces faciès avec des dépôts plus profonds, marnes à Globigérines et marnes à Radio-laires (Barbados et Trinidad). Localement et en quelque sorte dans la même

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 géanticlinal 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 géanticlinal: 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 géanticlinaux (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 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 paralique 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 hercyeniens 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.

12. BERTRAND, M. Structure des Alpes françaises et récurrence de certains faciès sédimentaires. Congr. géol. intern. 1894, C. R. p. 161—177. Lausanne 1897.
13. BLATCHFORD, T. The Geology of portions of the Kimberley Division. Geol. Survey, W. Australia, Bull. 93, 1929.
14. BÖGGILD, O. B. Meeresgrundproben der Siboga-Expedition. Siboga-Expeditie, Monogr. LXV. Leiden 1916.
15. BOSCHMA, H. Scientific results of the Snellius Expedition: Biological Data, Vol. VI, 1936.
16. BOURCART, J. La marge continentale. Essai sur les régressions et les transgressions marines. Bull. Soc. géol. France, 5me série, t. VIII, p. 393—474, 1938.
17. BROUWER, H. A. The geology of the Netherlands East Indies. New York 1925.
18. BUSCHKIEL, A. L. Natürliche und kulturelle Veränderungen an den Flussdeltten der Nordküste Javas. Geologie d. Meere und Binnengewässer, Bd. I, 1937.
19. BUBNOFF, S. v. Die Gliederung der Erdkruste. Fortschr. d. Geol. und Palaeont., H. 3. Berlin 1923.
20. BUBNOFF, S. v. Grundprobleme der Geologie. Berlin 1931.
21. BÜTLER, H. Die Mächtigkeit der kaledonischen Molasse in Ostgrönland. Mitt. Naturf. Ges. Schaffhausen, Heft XII, p. 17—33, 1935.
22. CADISCH, J. Das Wesen der Alpen im Spiegel der Vorlandsedimentation. Geol. Rundschau, Bd. 19, 1928.
23. DACQUÉ, E. Grundlagen und Methoden der Palaeogeographie. Jena 1915.
24. DALY, R. Our mobile Earth. New York & London 1929.
25. EVERDINGEN, E. VAN. The Snellius Expedition. Journal du Conseil intern. pour l'expl. de la Mer, vol. V, 1930.
26. FICHTER, H. Geologie der Bauen-Brisen-Kette und die zyklische Gliederung der Kreide und des Malm der helvetischen Decken. Beitr. zur geol. Karte der Schweiz, N. F., Lf. 69, 1934.
27. FRANCK, M. Das Wandern der „tektonischen“ Vortiefen in den Alpen. Centralbl. f. Min. Jahrg. 1930, p. 9—22.
28. GIGNOUX, M. Géologie stratigraphique. 2me édit., Paris 1936.
29. GIGNOUX, M. et MORET, L. Description géologique du bassin supérieur de la Durance. Travaux du labor. Univ. Grenoble, 1938.
30. GRABAU, A. Migration of geosynclines. Bull. of Geol. Soc. China, III. Peking 1924.
31. HAUG, E. Les géosynclinaux et les aires continentales. Bull. Soc. géol. France, 3me série, T. 28, p. 617—711, 1900.
32. HAUG, E. Traité de Géologie. I, Les phénomènes géologiques. Paris 1907.
33. HAUG, E. Traité de Géologie. II, Les périodes géologiques. Paris 1908—1911.
34. HEIM, A. Geologie der Schweiz, Bd. I et II. Leipzig 1919—1922.
35. HOEN, A. P. T'. Geol. Overzichtskaart von den Nederl.-Indischen Archipel. Toelichting bij Blad XVI. Jaarb. v. h. Mjinwesen, Verh. Jaarg. 58, 1919.
36. KAYSER, E. Lehrbuch der allgemeinen Geologie, 8. Aufl. Stuttgart 1923.
37. KOBER, L. Bau der Erde. Berlin 1928.
38. KON. NED. AARDR. GEN. De Zeeën van Nederlandsch Oost-Indië. Leiden 1922.
39. KOOLHOVEN, W. C. B. Verslag over eene verkenningsstocht in den Oostarm van Celebes. Jaarb. v. h. Mijnwesen in Nederl.-Indië, Jaarg. 58, 1929.
40. KRÜMMEL. Handbuch der Ozeanographie, 2. Aufl. 1907.
41. KUENEN, PH. H. Zijn de Indische diepzeebekkens geosynclinalen? Geol.-Mijn. Gen. van Nederl. Versl. Geol. Sectië, 3de D., p. 327, 1933.
42. KUENEN, PH. H. Scientific results of the Snellius Expedition. Geology of Coral reefs. Vol. V, part 2, 1933.
43. KUENEN, PH. H. Scientific results of the Snellius Expedition. Geological interpretation of the bathymetrical results. Vol. V, part 1, 1935.
44. KÜNDIG, E. Morphologie und Hydrologie der Toili-Ebene. Mitt. Geogr.-Ethn. Ges. Zürich, Bd. XXXII, 1931—32.
45. LAPPARENT, A. DE. Leçons de pétrographie. Paris 1923.
46. LEUCHS, K. Tiefseeegräben und Geosynclinale. N. Jahrb. f. Min., Bd. 58, B, p. 273—294, 1927.

47. LEUPOLD, W. et VAN DER VLERK, I. M. The Tertiary. Feestbundel Martin, Leidsche Geol. Med., V, 1931.
48. LEUPOLD, W. Neue mikropaläontologische Daten zur Altersfrage der alpinen Flyschbildungen. *Eclogae geol. Helv.*, Bd. 26, 1933.
49. LOCZY, L. VAN. Geologie van N.-Boengka en het Bongka-Gebiet. *Verh. Geol.-Mijnb. Gen., Geol. Sectië*, X, 1934.
50. MARTONNE, E. DE. *Traité de Géographie physique*, 4me édit., 3 tomes. Paris 1927.
51. MOHR, E. C. J. Sedimentation der Java-Zee. *Handel. van het eerste nat. Congress, Batavia 1919.*
52. MOLENGRAAFF, G. A. F. De geologie der zeeën van Nederl. O.-Indië dans *Bibl.* 38.
53. OBRUTSCHEW, W. A. Ueber einige neue Anschauungen in der Tektonik. *Geol. Archiv*, 4. Jahrg., p. 180—190, 1927.
54. PRATJE, O. Die Ausdeutbarkeit der Sedimente. *Geol. Rundschau*, Bd. 29, p. 168—174, 1938.
55. PRUVOST, P. Sédimentation et subsidence. *Soc. géol. France, Livre jubilaire*, p. 545—564, 1930.
56. RIEL, P. M. VAN. Scientific results of the Snellius Expedition. The bottom configuration, Vol. II, Part II, Chapt. II, 1934.
57. RUTTEN, L. M. R. Voordrachten over de geologie van Nederl. Oost-Indië. Den Haag 1927.
58. RUTTEN, L. M. R. De geologie van Ned. Indië. Den Haag 1932.
59. SCHUCHERT, C. Sites and nature of the North-american geosynclines. *Bull. Geol. Soc. America*, Vol. 34, p. 151—236, 1923.
60. SION, J. *Asie des Moussons. Géogr. universelle*, T. IX, 2me partie. Paris 1928.
61. SOERGEL, W. Das Problem der Permanenz der Ozeane und Kontinente. Stuttgart 1917.
62. SORRE, M. Mexique. *Amérique Centrale, Géog. universelle*, T. XIV. Paris 1928.
63. STAUB, R. Der Bewegungsmechanismus der Erde. Berlin 1928.
64. STILLE, H. Grundfragen der vergleichenden Tektonik. Berlin 1924.
65. STRAUZ, L. Geologische Fazieskunde. *Jahrb. der kgl. ungar. geol. Anstalt*, Bd. XXVIII, p. 75—272, 1927—29.
66. SUSS, E. *La Face de la Terre*. Paris 1897—1918.
67. SUPAN, A. Grundzüge der physischen Erdkunde, 7. Aufl., Bd. I et II. Berlin 1927—30.
68. TERCIER, J. Géologie de La Berra. *Mat. carte géol. Suisse, N.S., Livr.* 60, 1928.
69. TERCIER, J. Sur l'extension de la zone ultrahelvétique en Autriche. *Eclogae geol. Helv.*, Vol. 29, 1936.
70. TERMIER, P. *A la Gloire de la Terre*. Paris 1924.
71. TWENHOFEL, W. H. *Treatise on sedimentation. Sec. Edit.* Baltimore 1932.
72. WALTHER, JOH. *Einleitung in die Geologie*. Jena 1893—94.
73. WALTHER, JOH. *Allgemeine Palaeontologie*, 1. Teil. Berlin 1919.
74. WEBER, M. *Biologie der Zee*, dans *Bibl.* 38.
75. WEGENER, A. *La genèse des continents et des océans*. 5me édit., trad. Lerner. Paris 1937.
76. UMBGROVE, J. H. F. De Koraalriffen in de Baai van Batavia. *Dienst v. d. Mijnb. Nederl.-Indië, Wetensch. Med. No.* 7, 1928.
77. UMBGROVE, J. H. F. Verschillende typen van tertiaire geosynclinales in den Indischen Archipel. *Leidsche Geol. Med.*, 6, p. 33—43, 1933.
78. UMBGROVE, J. H. F. The relation between geology and gravity field in the East Indian Archipelago. *Grav. Exp. at sea*, 1928—32, vol. II. *Public. Nederl. Geodesic Com.* 1934.
79. ZWIERZICKI, J. Geol. overzichtskaart van den Nederl. Indischen Archipel. *Toelichting bij blad XX. Jaarb. v. h. Mijnwesen*, Vol. 56, 1927.
80. ZWIERZICKI, J. *Toelichting bij de geotektonische Kaart van Nederlandsch Indië. Jaarb. v. h. Mijnwesen in Ned. Indië*, Vol. 58, 1929.