Br. Géographie physique 38-1750

COMMISSION INTERNATIONALE POUR L'EXPLORATION
SCIENTIFIQUE DE LA MER MÉDITERRANÉE

MANUEL POUR LES OBSERVATIONS OCÉANOGRAPHIQUES À LA MER

1er VOLUME

III - MORPHOLOGIE ET NOMENCLATURE
DU RELIEF SOUS-MARIN
(De Martonne)

Br
Géo. phys -
38
1750

VENEZIA
Officine Grafiche Carlo Ferrari
1932 - X

III

EM. DE MARTONNE

MORPHOLOGIE ET NOMENCLATURE DU RELIEF SOUS-MARIN

INDEX

I. - Caractères généraux du relief sous-marin . . . . Pag. 4

Uniformité . . . . . ,, 4
Cas de fortes pentes . . . . . ,, 4
Plaines abyssales ou pélagiques . . . . . ,, 6
La plateforme continentale (Shelf) . . . . . ,, 6
Les fosses abyssales . . . . . ,, 11
Montagnes sous-marines . . . . . ,, 13

II. - Facteurs du relief sous-marin . . . . . ,, 15

Traces de modelé continental . . . . . ,, 15
Le modelé océanique . . . . . ,, 16
Mouvements orogéniques et épeirogéniques . . . ,, 19
Les volcanisme . . . . . ,, 22
Récifs coralliens et plateformes coralliennes . . . ,, 23

III. - Conclusions sur la nomenclature du relief océanique . ,, 24

MORPHOLOGIE ET NOMENCLATURE DU RELIEF SOUS-MARIN

Les formes du relief sous-marin nous sont encore très imparfaitement connues. C'est la principale raison de la confusion qui règne dans leur nomenclature, malgré les essais louables qui ont été plus d'une fois tentés pour y remédier.

Depuis que le sondage par le son a rendu possible le levé de profils continus, on a l'espoir de voir se préciser l'idée encore très imparfaite que des sondages isolés nous permettaient de nous faire d'un relief qui échappe à l'observation directe. De grandes étendues d'océan resteront cependant encore longtemps à peu près inconnues.

Malgré cette situation, il paraît désirable que toutes les personnes appelées à faire des observations en mer soient d'accord sur un certain nombre de faits généraux et de principes qui doivent être actuellement reconnus. La route peut être ainsi dégagée de certaines erreurs qui l'encombrent, héritage d'un passé où nos connaissances étaient encore bien plus rudimentaires. Des recommandations peuvent être formulées, en vue de l'avenir, telles qu'on soit en état de tirer parti d'une découverte, de décrire ou dénommer correctement un accident qui n'avait pas encore été signalé.

Tel est le but du présent exposé. Si son auteur a accepté de le rédiger, en cédant à des sollicitations pressantes, c'est qu'il a cru comprendre que les Océanographes tenaient à avoir, sur les formes du relief sous-marin, l'avis d'un géographe exercé à l'étude et à l'interprétation des formes du relief des terres fermes.

La comparaison des formes sous-marines avec les formes continentales est en effet nécessaire à l'intelligence des premières, (elle n'est même pas sans intérêt pour celle des secondes). C'est à tort qu'on a qualifié de " vallées „ de larges bassins sous-marins; il y a cependant de vraies vallées noyées, dues à l'érosion des rivières avant l'envahissement par la mer. Des causes spéciales donnent sans doute au relief du fond des mers des caractères bien différents de ceux du relief continental; néanmoins on ne saurait admettre que le niveau des mers sépare deux mondes entièrement différents. Les rugosités de la surface de la lithosphère sont dues à des phénomènes indépendants de la présence ou de l'absence des eaux salées accumulées dans les parties relativement déprimées.

Nous inspirant de ces idées, nous nous proposons d'examiner d'abord les caractères généraux du relief océanique tel qu'il nous est connu. La comparaison avec le relief continental nous montrera des ressemblances et des différences. Nous pourrons ensuite, en tirant parti de l'expérience acquise sur le continent et en procédant par inférence pour le reste, essayer de déterminer les facteurs du relief sous-marin.

Il en résultera des conclusions, comportant des propositions pour la nomenclature des formes telles que nous les connaissons et même peut-être de certaines formes, encore peu ou pas connues, mais qu'on peut rencontrer.

I. - Caractères généraux du relief sous-marin.

Uniformité. — Un caractère général du relief sous-marin qui a été maintes fois noté est son uniformité. Les dénivellations y paraissent moins brusques et moins répétées que sur le continent. Les profils le long des parallèles dressés et publiés par Heiderich ont rendu familière cette notion.

D'après les calculs de Krümmel, le rythme des dénivellations accuse une fréquence cent fois plus grande sur le continent européen que dans l'Atlantique ; la pente moyenne, mesurée dans l'Atlantique nord entre 0° et 47° de latitude, varie de 0°20 à 0°37, ce qui représente de I : 166 à I : 93.

Les lacunes de notre connaissance des océans peuvent il est vrai être dans une certaine mesure responsables de l'uniformité apparente du relief sous-marin. La où les sondages se multiplient, ce relief parait plus accidenté. Cependant, il semble que les contrastes bathymétriques vraiment très accentués sont limités à certaines zones.

Cas de fortes pentes. — On ne connait guère de pentes de plus de I° en dehors des régions volcaniques, — du bord de la plateforme continentale, — des vallées glaciaires submergées, — du bord des récifs coraliens.

La plupart des îles océaniques isolées sont des volcans ; les pentes submergées prolongeant les pentes émergées peuvent y atteindre de 30° à 40°, notamment à Ste-Hélène (38°) Tristan d'Acunha (33°) St-Thomas (30°). On a noté 60° à St-Paul, 50° à Santorin. Dans ces deux derniers cas il s'agit de cratères d'explosion. Les exemples analogues connus et représentés par des cartes sur les continents ont des pentes de même valeur (Crater Lake de l'Orégon, grands cratères de l'Afrique Equatoriale etc....).

Les archipels volcaniques peuvent être accompagnés d'un relief sous-marin assez accidenté, où il semble naturel de voir des formes dues à une activité éruptive sous-marine. Le cas le mieux connu est celui des Açores. Le prince de Monaco a découvert là, à côté de bosses, dont les pentes sont loin d'ailleurs de celles mentionnées plus haut, une fosse circulaire, qui parait être une " Caldera „, un cratère d'explosion sous-marin. Aucune limite n'existe évidemment en profondeur pour les reliefs volcaniques.

Il n'en est pas de même pour les vallées glaciaires submergées qui ne peuvent se trouver que sur les rives d'un continent. Les fjords de la Norvège, les golfes analogues du Groenland, du Chili etc.... ont des pentes de 30° à 40° prolongeant sous les eaux les versants émergés. Tout le relief en creux, dont une partie est actuel-

lement envahie par la mer, a été le lit d'un glacier disparu, d'après la chronologie établie par les recherches très précises des géologues scandinaves, il y a 10 à 15.000 ans au plus. On sait d'ailleurs que les fjords de Norvège sont creusés à plusieurs centaines de mètres au dessous de la plateforme continentale sur laquelle ils débouchent (fig. 1). L'érosion glaciaire peut seule expliquer ces ombilics et les pentes surescarpées du versant immergé ou émergé.

Les côtes où la glaciation quaternaire ne s'est pas fait sentir ont des estuaires, analogues aux fjords pour le contour du littoral, mais qui en diffèrent par les pentes moins fortes en général du versant immergé aussi bien que du versant émergé, et par l'absence d'ombilics. Le nom de " Rias „ qui leur est donné dans la Galice espagnole mérite d'être généralisé et est appliqué couramment par les géographes aux baies du même genre en Bretagne, en Chine etc.

Fjords et Rias sont des accidents littoraux.

C'est à une distance un peu plus grande de la côte, mais rarement à plus d'une centaine de kilomètres qu'on recontre un talus remarquable par sa raideur, souvent même par son relief déchiqueté. Ce talus est l'extrémité d'une zone de profondeurs comprises généralement entre 100 et 300 mètres, zone bordant les continents et qu'on appelle " Plateforme continentale „ (shelf des Anglais).

On connait avec quelque détail le bord de cette plateforme entre les Iles Britanniques et la Bretagne. Les fonds y descendent assez rapidement de 180 m. à 2000 et 3000 m. avec des pentes qui ne dépassent pas cependant en moyenne 5 à 6°, atteignant exceptionellement 20 à 25°. Des promontoires, des sortes de buttes-témoins accidentent cette zone, dont le relief est comparable semble-t-il à celui de montagnes bordant un haut plateau à la surface des terres émergées, par exemple à l'escarpement des Hauts Plateaux du Colorado dans le Sud-Ouest des Etats Unis ou au bord des plateaux de l'Asie Centrale, qui forment l'Himalaya (figure 2).

On a observé sur le trajet des cables transatlantiques des pentes de plus de 30°.

La raison de la raideur du talus de la plateforme continentale et de son irrégularité ne peut être donnée que si on s'accorde sur l'origine de cette plateforme, question qui sera traitée plus loin.

Les récifs coralliens sont une particularité bien connue des mers chaudes. Ils forment la partie émergée de plateformes immergées sous une couche d'eau peu épaisse et qui se termine vers le large par un talus en pente très forte (en moyenne 20° et parfois jusqu'à 50°). On sait que les récifs coralliens sont construits par des polypiers au milieu desquels vivent des animaux à test calcaire. La plateforme est due en partie à l'abrasion des vagues, en partie à l'accumulation des débris, cimentés ensuite.

Il existe des plateformes immergées à des profondeurs de 100 m. et plus au milieu des Océans, dont on suppose, non sans quelque vraisemblance, qu'elles correspondent à d'anciens archipels coralliens, qu'un affaissement rapide a submergés ou dont un abaissement de température des eaux a arrêté le développement. Les

pentes des talus qui les limitent n'atteignent pas la valeur de celles des plateformes des récifs vivants (15° a 20° au plus). Tel serait le cas par exemple du grand banc des Chagos, de divers bancs des mers de Chine etc.

Plaines abyssales ou pélagiques. — En somme il semble bien que le fond des mers ressemble en général à ce que nous appelons sur le continent une plaine. Ces plaines sous-marines sont immergées à 3000 m. au moins de profondeur. On sait en effet que la profondeur moyenne des Océans est de 3500 mètres et que les profondeurs de 3000 à 6000 m. couvrent 70 % de la surface océanique.

En réalité les plaines océaniques sont des surfaces courbes, dont la courbure est seulement légèrement inférieure à celle du sphéroïde (figure 3).

Il est probable que leur uniformité est due à la sédimentation, plus abondante dans les dépressions ; elle s'expliquerait plus facilement si l'on admettait, comme bien des faits de géophysique et de géologie semblent le prouver, l'ancienneté sinon la permanence des grandes dépressions océaniques.

Les dépôts des grandes profondeurs, réduits à des vases d'origine organique ou volcanique, sont qualifiés par les océanographes de vases *pélagiques*, tandis que les géologues désignent les dépots anciens de même nature sous le nom de dépôts *abyssaux*. On peut donc hésiter entre le nom de *plaines abyssales* et celui de *plaines pélagiques* pour les fonds uniformes qui s'étendent sur de très grandes surfaces entre 3000 et 4 ou 5000 m.

La plateforme continentale (Shelf). — Moins étendues que les surfaces uniformes des grandes profondeurs, les plateformes qui bordent les continents ont une importance géographique aussi grande. Ces plaines sous-marines, recouvertes de quelques centaines de mètres d'eau seulement, sont connues sous le nom de plate-forme continentale (shelf des auteurs anglais).

Il s'agit d'une sorte de prolongement des plaines continentales jusqu'au talus, déjà signalé, où les profondeurs tombent brusquement de 200 à 3000 m. La rupture de pente peut se produire avant 200 m., très rarement cependant avant 150 à 180. Elle peut aussi apparaître plus bas, mais rarement au delà de 400 m.

La plateforme continentale peut avoir une largeur de plusieurs centaines de kilomètres, ou être réduite à quelques kilomètres. Elle peut même manquer complètement. En général, elle est d'autant plus étroite que les reliefs continentaux sont plus accentués au voisinage du littoral, comme c'est le cas sur la côte pacifique, de l'Amérique du Sud, où les hauts reliefs des Andes se dressent tout du long du littoral.

Sur la côte atlantique où s'étalent les plaines de la République Argentine on voit au contraire la plateforme continentale atteindre plus de 300 km. de large. Même contraste à peu près entre les côtes occidentales et orientales de l'Amérique du Nord ; la plate-

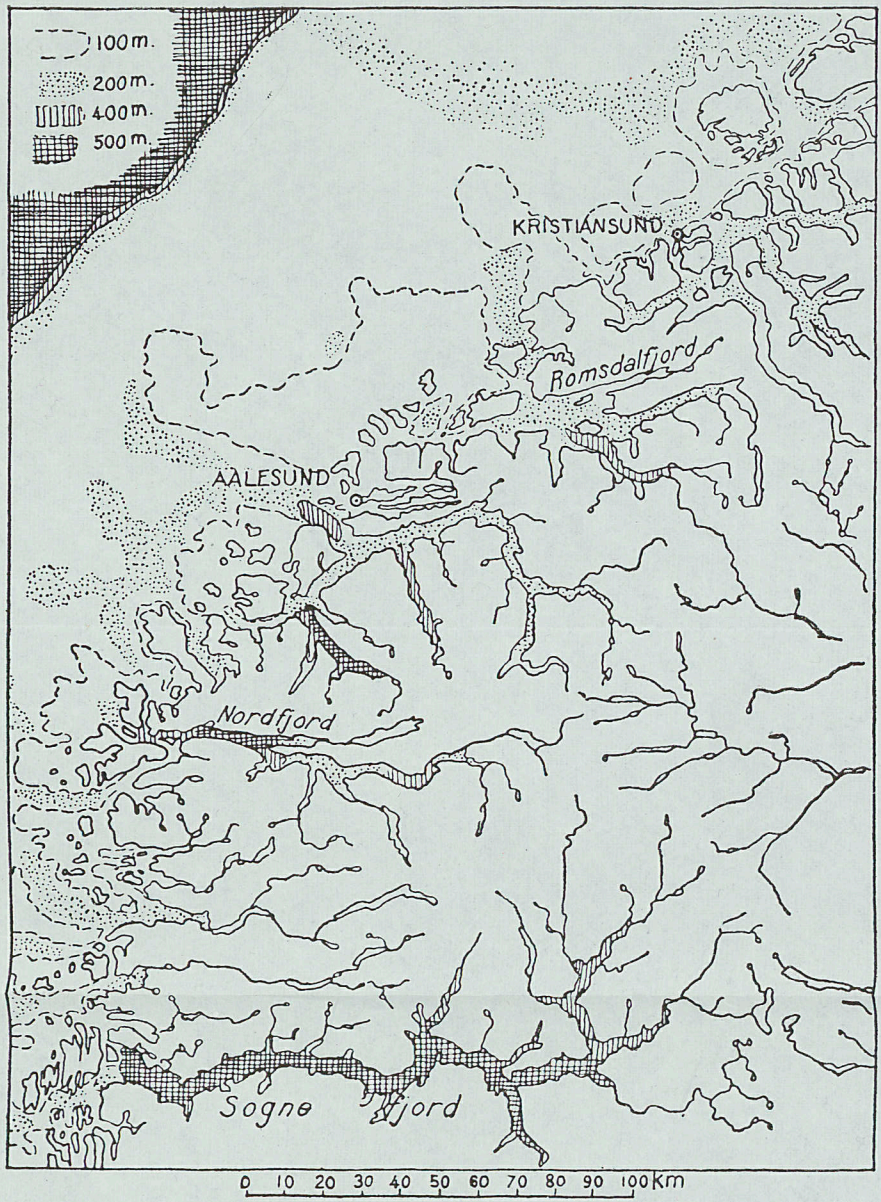


FIG. 1

Les fjords de Norvège et leur relation avec la plateforme continentale (Shelf)
d'après Em. de Martonne, Traité de Géographie Physique

Chari
Logone
Tchad
Moyen Chari
200 m
400 m
600 m

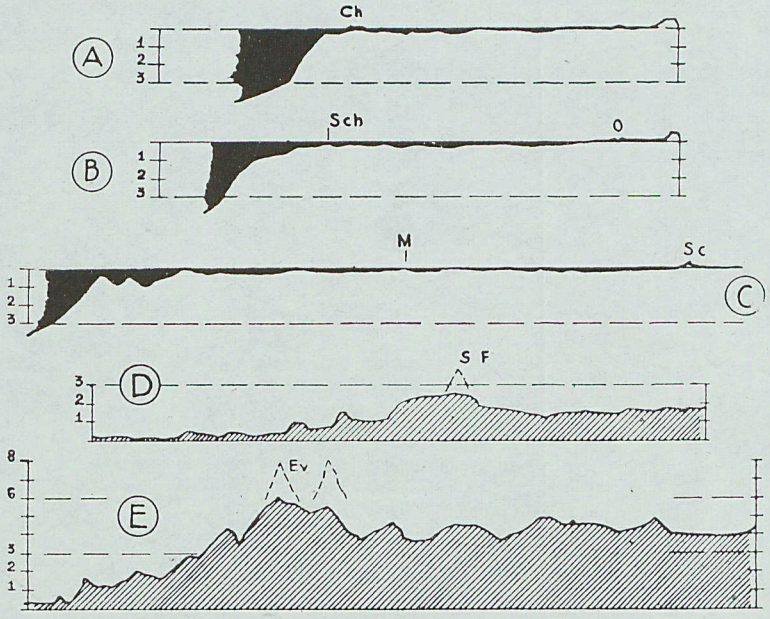
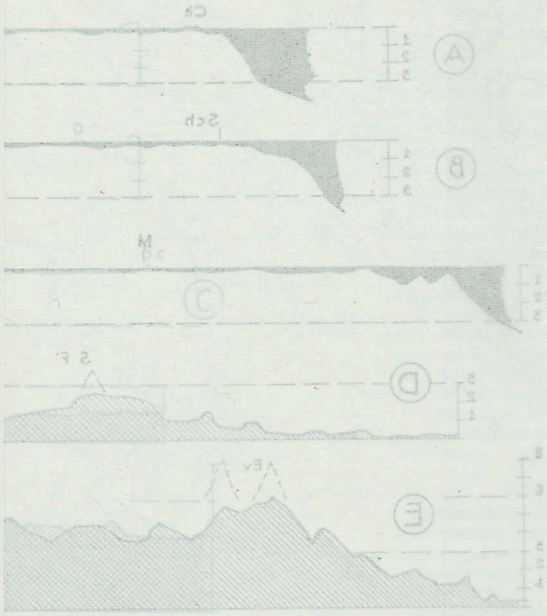


FIG. 2

Profils comparés du bord de la plateforme continentale (Shelf) entre l'Irlande et la Bretagne comparés à des dénivellations continentales comme le bord des plateaux du Colorado aux Etats Unis (D) et le bord des hauts plateaux du Thibet (E)
Dans ces deux derniers cas on a esquissé seulement en pointillé les pitons volcaniques des San Francisco Mountains (S F) et les cimes de l'Hymalaya (Ev)
Abreviations dans le profil A : Ch Banc de La Chapelle ; Profil B : Sch Banc Schamrock, O île Ouessant ; Profil C : Sc îles Scilly, M Banc Melville.
Les hauteurs sont exagérées 100 fois (échelle en Kilomètres)


A
B
C
D
E

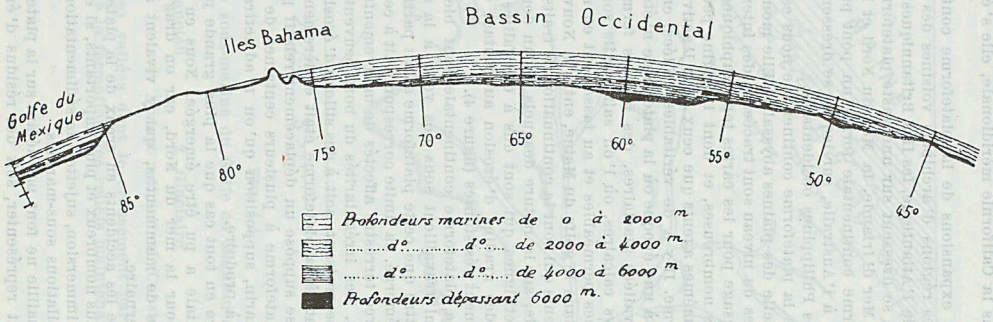


FIG. 3

Allure courbe des plaines pélagiques formant en réalité des surfaces à courbure plus faible que le géoïde

forme disparaît dans la Californie méridionale, elle s'étale au NE du Etats Unis.

Les plus grandes expansions de la plateforme continentale se rencontrent dans les régions d'archipels voisines des continents. Ainsi, dans le NE de l'Atlantique, les Iles Britanniques et la Scandinavie méridionale se dressent sur une vaste plateforme comprenant la Manche, la Mer d'Irlande, la Mer du Nord et la Baltique. De même la plateforme continentale forme un pont presque continu de l'Indochine à l'Australie, sur lequel se dressent Java, Sumatra, Bornéo et les Philippines occidentales.

La topographie de la plateforme continentale nous est beaucoup mieux connue que celle des plaines abyssales. Elle montre, sur les cartes où les courbes de niveau sont tracées à des intervalles semblables à ceux en usage pour les cartes topographiques des continents, des inégalités nombreuses, et dont l'origine peut être souvent attribuée aux mêmes agents que ceux dont l'activité est connue sur la terre ferme. Il y a de véritables vallées, creusées par les eaux courantes, à une époque où la plateforme n'était pas submergée. Il y a des vallées glaciaires, des bassins fermés semblables à ceux des pays calcaires, où l'on sait qu'ils sont dûs à la dissolution des roches perméables et au tassement en résultant.

On y a reconnu (dans le golfe du Maine, entre la Nouvelle Ecosse et Boston) des accidents qui sont la continuation de traits de la morphologie continentale, sur la nature desquels aucun doute ne peut exister : abrupts rectilignes qui sont dus à des failles et abrupts festonnés qui sont des gradins d'érosion au contact de couches inclinées et inégalement résistantes (figure 4).

Si les creux de la plateforme continentale sont bien dûs aux agents d'érosion qui travaillent sous nos yeux à la surface des terres, il faut admettre que cette plateforme a fait partie antérieurement du domaine émergé. Sa limite correspondrait à celle de compartiments de l'écorce terrestre affectés de mouvements verticaux de signes contraires. Les irrégularités du bord peuvent être dues, soit à des cassures se croisant, soit à des sillons d'érosion fluviale, creusés à un moment où la plateforme était entièrement émergée. La seconde hypothèse suppose un déplacement relatif plus ample, mettant toute la plateforme à plusieurs centaines de mètres au dessus du niveau marin, supposition qu'on n'admettra pas sans arguments difficiles à produire.

On doit reconnaître en tout cas que la plus grande partie de la plateforme continentale a pu être émergée. Nous en avons des preuves certaines pour la mer du Nord, car on dragues sur ses fonds des ossements de mammouths, qui y vivaient à l'époque pléistocène ou quaternaire.

Il est probable que les accidents en creux de la plateforme continentale seraient plus nombreux et plus importants, si elle n'avait pas été, depuis son immersion, sujette à la sédimentation, qui tend à réduire les dénivellations sous-marines.

Les accidents en saillie ne font pas défaut sur la plateforme continentale. Il peuvent représenter, soit des résidus d'érosion, soit

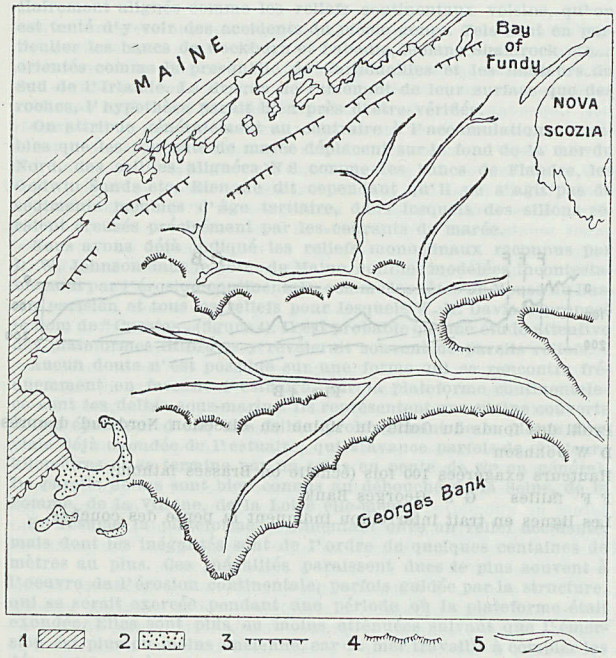


FIG. 4 A

Morphologie sous-marine du Golfe du Maine d'après D. W. Johnson

1 I Massif ancien 2 Glaciaire 3 Abrupt de Faille

4 Abrupt monoclinal (Cuesta)

5 Réseau des vallées dont le creusement par l'érosion fluviale a déterminé la formation des reliefs maintenant immergés

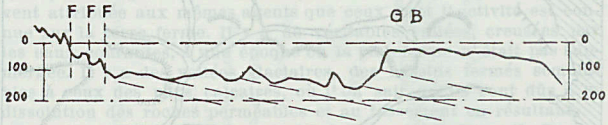


FIG. 4 B

Profil des fonds du Golfe du Maine en direction Nord-Sud d'après D W Johnson
Hauteurs exagérées 100 fois (échelle en Brasses fathom)
F F fallies G B Georges Bank
Les lignes en trait interrompu indiquent la pente des couches

des accumulations de sédiments. On les confond pourtant généralement sous le nom de " bancs „.

Certains bancs de la plateforme continentale européenne sont si clairement alignés comme les reliefs continentaux voisins, qu'on est tenté d'y voir des accidents du même genre. Tels sont en particulier les bancs de Cockburn et Labadie, le banc Shamrock etc..., orientés comme la presqu'île de Cornouailles et les hauteurs du Sud de l'Irlande. La drague ne ramenant de leur surface que des roches, l'hypothèse paraît bien près d'être vérifiée.

On attribue généralement au contraire à l'accumulation des sables que les courants de marée déplacent sur le fond de la mer du Nord, des saillies alignées N S comme les bancs de Flandre, les Godwin Sands etc. Rien ne dit cependant qu'il ne s'agit pas de sédiments meubles d'âge tertiaire, dans lesquels des sillons seraient creusés précisément par les courants de marée.

Nous avons déjà indiqué les reliefs monoclinaux reconnus par D. W. Johnson dans le golfe du Maine, collines modelées incontestablement par l'érosion continentale, comme les côtes de Meuse du Bassin parisien et tous les reliefs pour lesquels W. M. Davis a proposé le nom de " Cuestas „ (figure 4). Il est probable qu'une étude attentive des plateformes littorales y révélerait souvent de pareils reliefs.

Aucun doute n'est possible sur une forme qui se rencontre fréquemment en face de l'estuaire, sur la plateforme continentale; ce sont les deltas sous-marins. Ils représentent une plaine couverte d'une épaisseur d'eau très faible, prolongement de la plaine alluviale déjà exondée de l'estuaire, qui s'avance parfois de plusieurs kilomètres et se termine par un talus en pente de 30° en général. De pareils deltas sont bien connus au débouché de la Seine, de la Somme, de la Vilaine, de la Loire elle-même.

En résumé la plateforme continentale offre un relief accidenté, mais dont les inégalités sont de l'ordre de quelques centaines de mètres au plus. Ces inégalités paraissent dues le plus souvent à l'oeuvre de l'érosion continentale, parfois guidée par la structure, qui se serait exercée pendant une période où la plateforme était exondée. Elles sont plus ou moins atténuées suivant que l'émersion est plus ou moins ancienne, car la mer travaille à combler les dépressions et à niveler les parties en saillie qui se rapprochent de la profondeur à laquelle le travail des vagues peut se faire sentir; cependant on peut concevoir, dans certains cas, une action des courants de marée érodant des couches peu résistantes, ou déposant des sables le long des lignes de moindre vitesse.

Les fosses abyssales. — Un des traits généraux les plus importants de la morphologie sous-marine est l'existence de dépressions très accusées immergées à des profondeurs bien supérieures à celles des plaines pélagiques (8 à 10.000 m.) et qui paraissent d'étendue très limitée. Leur largeur n'atteint pas le dixième de leur longueur.

Les très grandes profondeurs répondent donc à des accidents locaux comme les très hautes altitudes des continents (moins de 1 %

du fond des océans est au dessous de 7000 m., moins de 0,5 % des continents au dessus de 5000). Il ne semble pas douteux que, dans les deux cas, la cause soit une dislocation violente de l'écorce terrestre.

D'ailleurs on a remarqué depuis longtemps que ces grandes profondeurs marines voisinent avec les hauts reliefs continentaux, et, loin d'occuper le centre des océans, se trouvent sur leurs bords. Il est sans doute possible que nous ignorions encore certaines fosses. Cependant, les progrès de la connaissance des océans depuis de nombreuses croisières scientifiques transocéaniques n'ont jamais révélé jusqu'ici de nouvelles fosses abyssales à une grande distance des continents ou des groupes d'îles s'y rattachant. On connait une vingtaine de fosses; la plupart sont sur les bords de l'océan Pacifique; elles sont bordées de montagnes ou d'archipels généralement montagneux sur lesquels se dressent des volcans, souvent encore actifs, et qui sont le siège de tremblements de terre aussi violents que fréquents. La fosse des îles de la Sonde dans le N E de l'Océan Indien est dans la même situation. C'est au voisinage des Antilles qu'ont été découvertes les seules fosses comparables dans l'Océan Atlantique à celles du Pacifique, notamment la grande fosse de Porto-Rico (8.340 m.). Là encore les grandes profondeurs avoisinent des chaines de montagnes qui paraissent en voie de surrection, accompagnées de volcans et agitées de tremblements de terre.

A plusieurs reprises on a systématiquement étudié certaines fosses par des sondages répétés et les sondages par le son, récemment employés, ne semblent pas avoir modifié l'idée qu'on pouvait tirer des campagnes antérieures. La profondeur d'une fosse peut varier de plusieurs milliers de mètres sur une longueur de quelques centaines de kilomètres; elles offrent des ombilics et des seuils. Les pentes conduisant aux abîmes n'atteignent presque jamais 10°. Par exemple la fosse des Mariannes offre près de Guam des pentes de 2° ½ entre 1000 et 5000 m. et de 7° entre 5 et 9000.

Si l'on cherche à la surface des continents des accidents comparables aux fosses abyssales il semble naturel de regarder vers les régions où l'on connait de grands fossés tectoniques, dûs à l'affaissement d'une bande de l'écorce terrestre entre deux lignes de failles. Tels les fossés de l'Afrique orientale, qui s'allongent de l'Abyssinie au Zambèze. Ces fosses sont si profondes et ont des ombilics si marqués que d'immenses lacs s'y sont formés (Tanganyika, Nyassa etc...). La dénivellation dépasse souvent 3000 m. Il y a des fossés analogues en Asie: dépression Jourdain-Mer Morte se continuant par le golfe d'Akaba, bassins fermés du Turkestan chinois, lac Baïkal.

Cependant il y a une différence entre ces fossés tectoniques continentaux et les fosses abyssales. Les premiers s'ouvrent généralement au milieu de régions relativement soulevées, leurs deux bords sont le plus souvent à peu près symétriques. Les secondes ne sont bordées que d'un côté par un relief accentué. Il semble donc que les processus tectoniques ne soient pas exactement les mêmes. En dressant à la même échelle un profil de fossé tectoni-

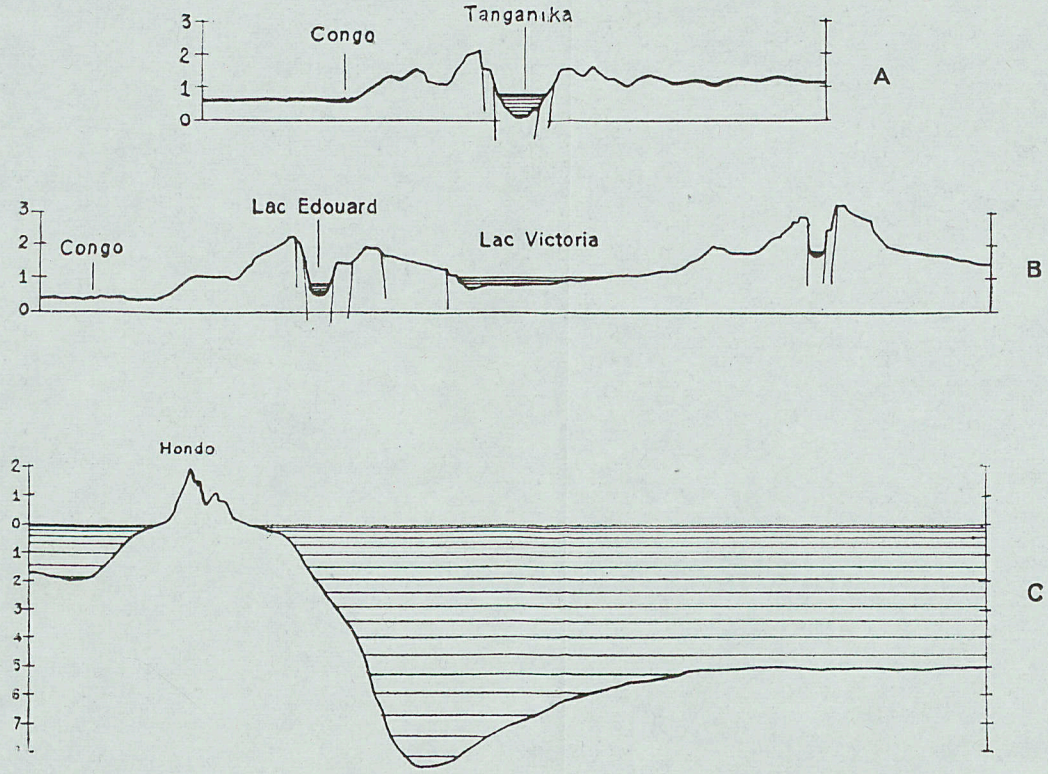


FIG. 5

Profils comparés des fossés tectoniques de l'Afrique Orientale (A et B) et de la grande fosse Japonaise (C)
Hauteurs exagérées 50 fois (echelle en Kilomètres)

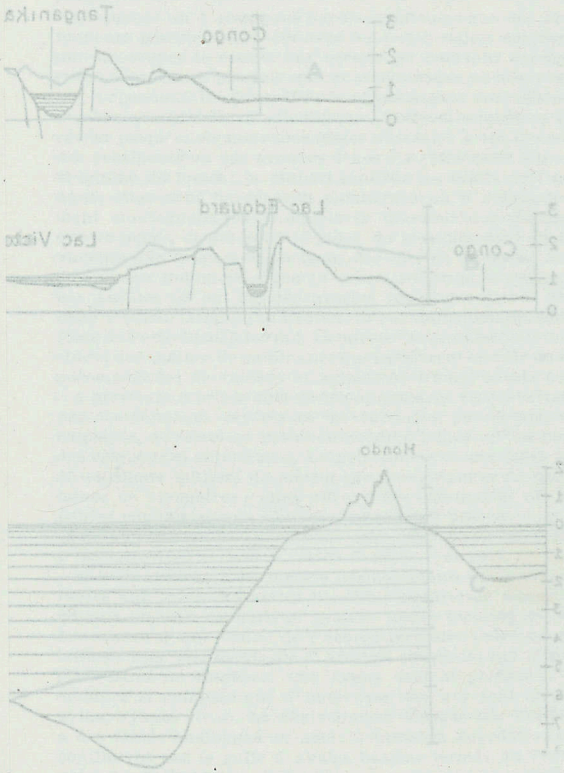


Fig. 8

que continental et de fosse abyssale, on voit en outre qu'il s'agit de phénomènes difficilement comparables même du simple point de vue de leurs dimensions (figure 5).

Les fosses abyssales paraissent être pour la plupart des affaissements en bordure de chaînes de montagne en formation. Il est probable qu'elles se déplacent lentement, en même temps que l'ondulation positive avance. Sansdoute existe-t-il des accidents analogues sur les continents, mais ils échappent le plus souvent à l'observation, car l'érosion de la montagne comble l'avant-fosse au fur et à mesure qu'elle s'enfonce. L'Himalaya est ainsi bordé par la plaine Indo-gangétique comblée d'alluvions sur une épaisseur inconnue. Les sondages ont révélé parfois dans des fossées continentaux une épaisseur de dépôts récents qui confond l'imagination. Ainsi l'oligocène est accumulé sur 1500 m. dans la plaine d'Alsace au pied des Vosges. En Limagne, dans le Massif Central francais, on a trouvé des épaisseurs analogues. Dans les Pays-Bas, les sondages montrent une accumulation de plus de 1000 m. au pied du bloc hercynien du Massif Schisteux-rhénan.

Montagnes sous-marines. — Là où les sondages sont assez serrés, il arrive qu'on reconnaisse, toujours en bordure des reliefs continentaux, de véritables montagnes sous-marines, avec des crêtes parallèles à celles qui sont émergées, des dépressions longitudinales et des bassins fermés. Ces accidents sont certainement dûs aux mêmes dislocations qui déterminent les reliefs et dépressions sur le continent; il ne leur manque que le modelé d'érosion, qui tend à établir, sur la terre ferme, la continuité des pentes le long des lignes d'écoulement des eaux pluviales, et la ressemblance est plus grande là où l'aridité du climat réduit notablement, sur le continent l'activité de l'érosion. Ainsi le relief du sud de la Californie et d'une partie de l'Arizona aux Etats-Unis comporte des dépressions fermées semblables à celles que nous montre la carte bathymétrique levée par sondages acoustiques, dont nous reproduisons plusieurs profils (figure 6). La ressemblance serait encore plus grande si le ruissellement qui se produit dans les déserts ne suffisait pas à amener dans les dépressions fermées du continent des débris qui s'y accumulent et en masquent la profondeur.

On a reconnu sur la cote du Japon des accidents topographiques sous-marins certainement dûs à des dislocations récentes (figure 7); chaque tremblement de terre y modifie les fonds et on a pu le constater par des sondages après la dernière catastrophe de Tokyo (1).

---

(1) Dans la baie de Sagami une campagne de 82000 sondages a révélé des affaissements de 50 à 200 m. et des soulèvements de 250 m., d'après *Yamasaki, Physiographic Studies of the great earth quake of the Kwanto district 1923.* Journal of the Faculty of Science, Imperial University of Tokyo, II, 2, 1926). On peut faire des réserves sur la valeur absolue de ces chiffres, car la possibilité de retrouver exactement l'emplacement d'anciennes sondes est assez limitée. Cependant le nombre des sondages est tel que les chances d'erreur sont réduites et on doit admettre tout au moins de réels changements dépassant en ampleur tout ce qui a été constaté sur terre.

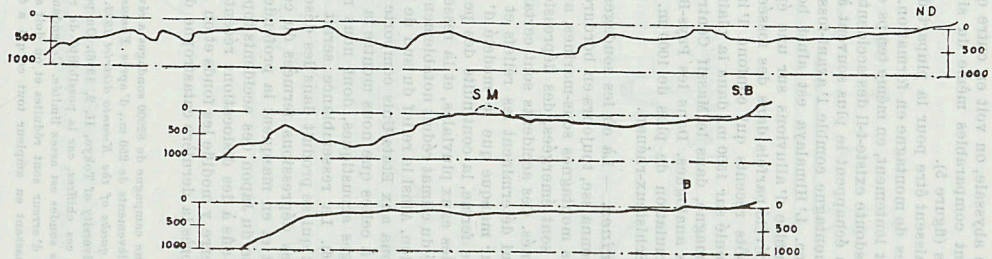


FIG. 6

Trois profils du relief sousmarin sur la cote Sud de la Californie entre San Francisco et Los Angeles
Hauteurs exagérées 100 fois (échelle en Fathoms)

N D Nord de San Diego S B Santa Barbara S M Silhouette des îles San Miguel
B Pte Buchov au S. de Monterey

La topographie de la fosse des Iles de la Sonde paraît elle-même plus compliquée qu'on ne l'imaginait d'abord ; la dépression se décompose en deux fosses, dont les relations exactes sont loin encore d'être bien connues (figure 8).

II. - Facteurs du relief sous-marin.

L'examen des caractères généraux du relief sous-marin nous a déjà donné quelques indications sur les facteurs de ce relief. Essayons de les grouper et de les compléter si possible.

Toutes nos connaissances positives sur l'origine des irrégularités de la surface de la lithosphère provenant de l'étude des surfaces continentales, on est tenté de s'y référer. Il importe donc de limiter les analogies.

Traces de modelé continental. — L'érosion qui agit sur les continents pour user les reliefs et accumuler leurs débris dans les dépressions est naturellement absente du fond des Océans, et c'est la principale raison de l'uniformité relative notée plus haut. Ce sont les vallées dont la répétition détermine le rythme des inégalités du relief continental. Leur absence signifie la continuité des pentes. On peut dire que l'exception confirme la règle. Les traces de modelé continental ne manquent pas complètement en effet au fond des mers, mais elles se rencontrent uniquement sur des surfaces récemment immergées, particulièrement sur la plateforme continentale. Elles sont assez importantes pour que l'océanographe soit obligé d'être au courant des principaux aspects du modelé d'érosion connu sur la terre ferme.

Le modelé d'érosion fluviale y est le plus répandu. Sa forme essentielle est la vallée, avec ses adaptations à la nature des roches, plus ou moins résistantes et aux dispositifs variés qu'offrent leurs contacts, suivant les mouvements qui les ont affectées. On a vu plus haut la possibilité de reconnaître les abrupts monoclinaux du type " côte „ ou " cuesta „. Peut-être arrivera-t-on à identifier des alignements ou des boucles de crêtes en rapport avec les plissements anciens, arasés puis rajeunis par l'érosion avant leur submersion, comparables à ceux qui nous sont connus dans les Appalaches et les régions de même genre.

Le modelé glaciaire joue un rôle important, vu l'extension récente au Quaternaire de calottes de glace, qui ont couvert la moitié de l'Europe et de l'Amérique du Nord, occupant même la plateforme continentale sur presque toute son étendue dans l'Europe du NO et probablement le nord du Canada. Les fjords sont des vallées glaciaires en partie immergées, dont les ombilics finissent en cul-de-sac sur la plateforme continentale (figure 1).

Les glaciers quaternaires ont aussi modifié la topographie par leurs accumulations, donnant des plaines de moraines de fond assez uniformes, accidentées de buttes de moraines de poussée et de bourrelets festonnés qui représentent des moraines frontales.

Le fond de la mer du Nord paraît en grande partie formé d'accumulations de moraines de fond. La Baltique est semée de gros blocs semblables à ceux des croupes de la Poméranie, qui y rendent impossible l'emploi des chaluts pour la pêche. Si les irrégularités des fonds de la plateforme continentale des régions du Nord étaient mieux connues, on y reconnaîtrait sans doute des " drumlins ", des " eskers " ou " oesars " et des vallums morainiques entourant des bassins du genre de ceux qui, sur les continents, sont souvent occupés par des lacs.

Les glaciers quaternaires ont encore pu agir très loin de leur front, par les dépôts des icebergs qui s'en détachaient. Le Banc de Terre-Neuve a été attribué à la précipitation des matières solides contenues dans les icebergs en dérive qui y viennent actuellement fondre, au contact avec les eaux chaudes du Gulf Stream. Il est probable que le même processus a dû se produire, avec une ampleur bien plus grande, au Quaternaire, quand l'île était couverte d'une calotte de glaces; la plateforme continentale de la Norvège a dû être elle-même le siège d'une sédimentation du même genre pendant la période de fonte des glaciers quaternaires qui couvraient toute la péninsule scandinave.

Les formes du relief continental, avec leurs inégalités, se répétant souvent à un rythme accéléré et leur variété presque infinie, n'occupent, malgré tout, qu'une bien faible étendue des fonds océaniques. Les vallées fluviales ou glaciaires se perdent sur le talus de la plateforme continentale. On ne connaît qu'un petit nombre d'exemples de vallées sous-marines sensibles jusqu'à 1000 m. de profondeur, telles celles qui y prolongent le Congo, l'Hudson, l'Adour. L'explication la plus vraisemblable est qu'on a affaire à des parties de la plateforme continentale abaissées par des failles en gradin.

En dehors de la plateforme continentale, tous les fonds sont soumis au modelé océanique, qui a déjà souvent effacé une partie des irrégularités signalées sur la plateforme elle-même.

Le modelé océanique. — En quoi consiste donc ce modelé qui règne sur plus des $^9/_{10}$ de l'étendue des fonds marins?

Il semble agir beaucoup plus lentement que le modelé continental, sauf dans une zone relativement étroite, sur le littoral et jusqu'à une profondeur qui ne peut, semble-t-il, dépasser 50 à 100 m. C'est dans cette zone que se fait sentir l'érosion des vagues, qu'agissent les courants de marée et ce qu'on a coutume d'appeler le " courant littoral ", résultante des mouvements ondulatoires déterminée surtout par la direction moyenne des vents et la forme du rivage.

Nous n'avons pas ici à analyser les formes variées de la topographie littorale. Cependant la nature des fonds en dépend jusqu'à une distance de plusieurs kilomètres. Aux falaises dues au sapement par les vagues, qui font reculer le rivage, correspond une plateforme immergée sous une nappe d'eau de quelques mètres seulement, découvrant en partie à marée basse, que les géographes appellent " plateforme d'abrasion ". Aux flèches littorales corres-

pondent des plages en pente plus ou moins rapide suivant la grosseur des débris qui les forment; elles ne sont que le sommet de plateformes d'accumulation correspondant aux angles morts dans le grand courant littoral, sommet couronné par les galets ou les sables éoliens quand il affleure au niveau des mers moyennes.

Jusqu'à quelle profondeur se fait sentir l'érosion par les vagues? Le calcul montre que le mouvement des vagues d'oscillation n'est plus sensible à 200 m. de profondeur. Mais les vagues de translation déplacent toute la tranche d'eau affectée, avec une vitesse qui diminue beaucoup plus lentement en profondeur. Ce sont elles qui travaillent surtout sur la plateforme d'abrasion. Pratiquement on sait que les scaphandriers sont gênés par la poussés des vagues à 30 m. de profondeur; des pierres rejetées sur la côte ont pu être arrachées à 100 m. de profondeur. Mais il s'agit de cas exceptionnels. Un grand nombre d'observations, réunies jadis par Nansen, semblent indiquer que l'abrasion ne se fait pas sentir en moyenne au dessous de 80 m.

Le travail des vagues agit naturellement plus vite sur des fonds meubles (sables, argile, grès peu consistants). Il peut être préparé par des agents de désagrégation, ainsi par la dissolution de roches perméables et solubles (calcaires, gypses) le long de plans de schitosité ou de diaclases. Des animaux perforants vivent jusqu'à des profondeurs de 30 m. et plus (pholades, oursins); on a supposé que leur activité suffisait à créer des rugosités, nivelées par les vagues, d'où résulterait l'enlèvement progressif d'une tranche égale de roche saine.

L'uniformité des profondeurs sur la plateforme continentale paraît due, dans bien des cas, à l'abrasion qui agit sur toute la surface et qui a pu se faire sentir à des profondeurs plus grandes avant le dernier relèvement du niveau de la mer. Le doute n'est guère possible, quand subsistent encore des vallées noyées, preuve que le relief continental n'était pas parfaitement nivelé au moment de son immersion.

Les courants de marée exercent une action sensible sur les fonds de la plateforme continentale. On leur a attribué le pouvoir de creuser des sillons ressemblant à des vallées. La chose n'est pas impossible dans le cas où les fonds sont meubles (sables, vases) et où la vitesse du courant est localement stimulée par la configuration du littoral. On a observé par exemple dans la Baie de St Malo, à une profonder de 30 m. une vitesse de près de 2 noeuds par marée de 10 m. Mais dans la plus part des cas, les vallées sous-marines sont certainement d'anciennes vallées fluviales. Les courants de marée contribuent à leur préservation en balayant les dépôts qui ne manqueraient pas de les boucher rapidement. Ils entretiennent les passes à travers les flèches littorales qu'on appelle Lido en Italie, Nehrung en Allemagne et qui barrent d'anciens golfes changés en lagunes.

L'oeuvre la plus importante des courants de marée consiste à balayer les dépots sur les fonds de la plateforme continentale, là où leur vitesse est assez grande. C'est ainsi que les fonds sont partout rocheux dans la Manche au voisinage du Pas de Calais, si bien

qu'il a été possible de recueillir par sondages des échantillons permettant de dresser la carte géologique. Une partie des Bancs de la Mer du Nord paraît s'être formée par accumulation dans les angles morts où la vitesse des courants de marée diminue, après avoir atteint un maximum au passage du Pas de Calais.

Il existe des courants non plus alternatifs mais constants, dûs à la différence de salinité entre mers voisines séparées par un seuil. Tels sont ceux qui sont connus dans le Détroit de Gibraltar, les Dardanelles et le Bosphore. Le courant de surface allant de l'Atlantique à la Méditerranée est un courant de décharge, auquel correspond en profondeur un courant de compensation de la Méditerranée à l'Océan. On a attribué à ce dernier des cavités révélées par sondage et comparées à des marmites torrentielles. Mais les dimensions de ces accidents impliqueraient des tourbillons d'une ampleur telle que la chose paraît peu vraisemblable. Le courant de fond a en tout cas le pouvoir de balayer les sédiments, en maintenant la roche nue et facilitant les processus de désagrégation qui peuvent attaquer certaines roches telles que calcaires ou gypses.

La pesanteur, qui détermine l'écoulement des eaux sur les continents, principe de l'érosion fluviale et du transport des alluvions, ainsi que du modelé des versants par glissements et éboulements, agit-elle au fond des mers? On ne peut douter que des déplacements de masses se produisent sur les pentes dépassant une certaine limite, quand elles sont formées de matériaux meubles ou désagrégés. Les tremblements de terre sous-marins secouant des fonds déjà accidentés y doivent produire des éboulements et glissements comme ceux qui ont été maintes fois observés dans les régions sismiques à la surface des continents. Il semble bien que les modifications constatées sur les fonds auprès du Japon soient dûs surtout à ce processus. Mais il peut y avoir des glissements spontanés sur un talus où l'accumulation crée une pente trop forte, par exemple sur le front d'un delta sous-marin, au bord d'un talus de plateforme corallienne ou d'un relief volcanique. Les glissements sous-marins tendent à réduire les pentes trop fortes et il est probable qu'ils agissent très largement.

L'accumulation contribue à modifier le relief sous-marin, surtout dans le sens d'une atténuation générale des pentes.

Sur la plateforme continentale, il s'agit de galets, sables et vases d'origine détrique, qui tendent à combler les dépressions, soit parceque l'agitation empêche leur dépot sur les saillies, soit parceque des glissements les font descendre au fond des creux. Ainsi s'explique la discontinuité des vallées sous-marines, dont le réseau complet peut rarement être retrouvé, même là où les sondages sont les plus serrés. P. Morin a pu, en utilisant les études faites pour l'établissement d'un barrage à St. Servan, dresser la carte du fond rocheux comparée au fond marin actuel et reconnaitre des vallées complètement bouchées par 15 à 20 m. de vases très récentes.

L'action des courants de marée est donc très importante dans les baies, estuaires et détroits où ils balayent les vases et sables, comme on l'a déjà indiqué.

Les dépôts des grandes profondeurs (dépôts pélagiques des Océanographes) ne consistent qu'en vases extrêmement fines, pluie tombant très lentement sur les fonds, qu'ils revêtent d'une pellicule uniforme. Il est possible qu'il y ait des zones où la précipitation est plus active, soit que la richesse en organismes y soit plus grande, soit que des éruptions volcaniques y répandent plus largement les cendres. De ce fait les fonds pourraient monter, mais il est probable que des mouvements compensatoires se produisent, tassements, glissements, sinon même affaissement du fond surchargé. L'uniformité des profondeurs pélagiques paraît indiquer un nivellement comparable à celui des plaines alluviales des continents.

Mouvements orogéniques et épeirogéniques. — Nous arrivons à la conclusion que les inégalités, nombreuses mais limitées comme dimension et extension, de la plateforme continentale sont dues surtout à l'action des érosions, fluviale ou glaciaire, avant l'immersion ; et que le modelé marin tend à uniformiser les pentes soit sur cette plateforme, soit dans la région pélagique correspondant aux profondeurs moyennes qui s'étend sur plus des $^9/_{10}$ des Océans.

Il faut donc que les grandes dénivellations du relief océanique soient dues à des phénomènes de déformation, comme les dénivellations les plus importantes de la surface des continents.

Les levés géologiques ont permis de se faire des idées précises sur la nature de ces déformations et il est naturel d'interpréter à leur lumière les traits dominants du relief océanique. L'absence de cette érosion qui déchiquète les montagnes en réduisant rapidement leur relief et adoucit les grandes dénivellations sur les terres fermes, fait que le fond des mers nous offre sans doute l'image à peine modifiée de ce que donnent les grandes déformations de la lithosphère. Il serait d'un puissant intérêt pour la géologie générale et la géographie physique de le connaître plus exactement.

Il semble qu'on doive y reconnaître les deux sortes de mouvements qualifiés d'*orogénique* et *épeirogénique,* d'après les observations des géologues sur les continents.

Les mouvements épeirogéniques sont ceux qui affectent de grandes étendues, déformant légèrement la surface par une modification progressive de la courbure du géoïde. Leur réalité a été constatée par les différences de niveau des terrasses d'anciens lacs quaternaires aux Etats Unis et par celles des dépôts lacustres ou littoraux sur les bords de la Baltique ; des mesures de précision poursuivies en Scandinavie ont montré que de pareils mouvements continuent actuellement.

Ce sont sans doute de pareils mouvements qui sont responsables de l'existence des plaines pélagiques, correspondant à des sortes de cuvettes ou de bassins, ou plus exactement, à des lieux de courbure réduite du géoïde. Il suffit d'un très léger changement de courbure pour faire le lit de mers profondes de 3000 à 5000 mètres.

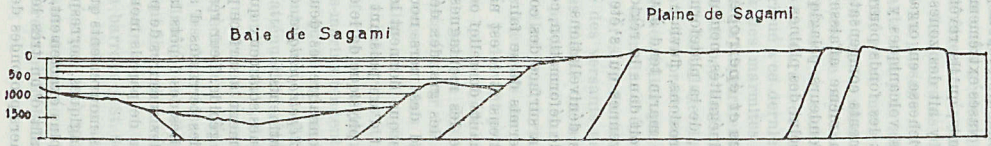


FIG. 7

Profil des dislocations récentes de la côte du Japon d'après Yamasaki. Hauteurs exagérées 4 fois (échelle en mètres)

Les continents correspondent aux sections à courbure exagérée. Le raccordement se fait par les pentes relativement fortes du talus continental, qui peut être dû à une flexure accompagnée ou non de failles.

Les mouvements orogéniques sont des déformations plus violentes, localisées suivant des zones relativement étroites, où se produisent des bourrelets et des sillons groupés en faisceaux, avec des dérangements très compliqués dans la disposition des couches et massifs de roches sédimentaires ou d'origine ignée. Les plus grandes profondeurs océaniques, comme les plus hauts reliefs continentaux sont dûs à ces mouvements orogéniques, qui continuent sans doute encore en certains points, tout au moins dans les régions fréquemment agitées par les tremblements de terre. On a vu plus haut que des changements de fonds de l'ordre de plusieurs centaines de mètres ont été récemment constatés sur les côtes du Japon. Le tracé des fosses de plus de 6000 m. dans le Pacifique Oriental (figure 8) reproduit, avec ses alignements et ses courbes, l'allure en festons ou guirlandes des chaînes d'îles et celle des grandes chaînes de montagnes de l'Eurasie. Il s'agit incontestablement de montagnes en formation.

Dans le Nord-Est de l'Océan Indien, une double fosse parait border les Iles de la Sonde. Les fonds de 2000 m. séparant les deux sillons font suite à la chaîne d'îles qui doublent la côte Nord-Ouest de Sumatra et se raccorde avec l'arc des îles Andaman et Nicobar, elles-mêmes prolongement des chaînes de montagnes de la Birmanie.

Les Antilles, forment, avec les fosses sous-marines qui les accompagnent des rides dont le tracé dessine des festons comparables à ceux des chaînes alpines de l'Europe.

Les grandes fosses abyssales sont les points les plus sensibles de toute la lithosphère. Elles s'approfondissent ou se comblent en se déplaçant probablement dans le sens de la progression des bourrelets qui les bordent.

Toute autre serait la signification des véritables fossés dus à un effondrement entre deux failles, comparables à ceux qui sont bien connus sur les continents et qui se trouvent en dehors des grandes zones de plissement récent, tels les fossés de l'Afrique Orientale affectant des massifs de roches cristallines très anciennes, et ceux des massifs hercyniens de l'Europe (Limagne du Massif Central français, fossé rhénan entre Vosges et Forêt Noire etc...). Il parait difficile d'identifier avec certitude de pareils accidents au fond des océans ; leur ampleur n'atteint pas généralement celle des fosses de plissement comme le montre le figure 5. S'il est vrai qu'ils se produisent surtout dans des compartiments relativement soulevés de l'écorce terrestre, plus exactement dans des secteurs à courbure exagérée, on pourrait s'attendre à ce qu'ils manquent dans les secteurs à courbure amoindrie qui forment les plaines pélagiques. Il est possible par contre qu'ils existent sur les bords de la plateforme continentale, où la flexure peut se décomposer en escalier de failles avec des rejets inverses.

Le volcanisme. — L'agent qui modifie le plus rapidement la topographie est, sous les océans comme à la surface des continents, le volcanisme. Nous ne connaissons que les volcans dont le sommet s'est élevé jusqu'à dépasser sensiblement le niveau de la mer. Ceux qui s'en approchent seulement sont rapidement tronqués par l'abrasion des vagues. C'est probablement la raison de l'apparition plus d'une fois signalée d'îles océaniques qui disparaissent bientôt sans pouvoir être retrouvées. Les explosions peuvent aussi brusquement réduire la hauteur d'un cône volcanique.

Le Vésuve, qui est peut-être le volcan le mieux connu du globe, change rapidement de forme et, si sa base se trouvait par 1200 m. environ de profondeur sous la mer, on l'aurait vu pointer au cours du XIXe siècle, comme une île, pour disparaître brusquement en 1906, puis apparaître de nouveau ensuite, à moins que les vagues ne détruisissent au fur et à mesure le sommet du cône.

L'existence de nombreux volcans sous-marins est probable sinon certaine, mais il n'est pas sûr qu'ils existent partout. On remarque en effet à la surface des continents que les volcans actifs sont localisés dans certaines zones : ce sont celles où s'observent les plus grandes dénivellations et où les mouvements orogéniques paraissent agir encore ou avoir agi jusqu'à une époque géologiquement très rapprochée, soit qu'il s'agisse de fractures et fossés tectoniques affectant de vieux massifs comme dans l'Afrique Orientale, soit qu'il s'agisse de zones de plissement comme dans la Méditérranée, le Caucase et probablement les chaînes bordières du Pacifique. Il est possible que les aires affectées simplement par des mouvements épéirogéniques ignorent le volcanisme. On constate qu'il manque dans les aires stables des continents correspondant à des secteurs à courbure légèrement exagérée, il en serait de même dans les grands fonds moyens des océans (3000 à 5000 m.) qui correspondant à des secteurs à courbure atténuée. Les îles océaniques isolées, qui sont presque toutes des volcans, surgissent sur des fonds généralement inférieurs à 3000. Dans le Pacifique on a l'impression que les volcans couronnent des rides orogéniques en voie de surrection.

L'activité volcanique est en tout cas un puissant élément de trouble dans la topographie sous-marine. Non seulement elle modifie rapidement les fonds, mais elle crée les pentes de 30° à 40° d'un certain nombre d'îles océaniques. Quand il s'agit de talus de produits de projections, des glissements et des éboulements adoucissent l'inclinaison. On a mesuré les angles les plus forts au voisinage de la surface, sans doute simplement parce que c'est le sommet de l'édifice nourri par les projections. Les abrupts de plus de 45° ne se trouvent que dans les cratères d'explosion ou " caldera „ suivant le nom commun aux Açores. Mais même dans ce cas la pente s'atténue à une certaine profondeur, effet des glissements qui succèdent à l'explosion. Ainsi à St-Paul la pente de 60° se réduit à partir de la profondeur de 300 m.

On ne doit pas croire que tous les volcans aient des pentes très fortes. Les coulées de lave donnent des surfaces relativement planes et les appareils volcaniques uniquement formés de lave assez

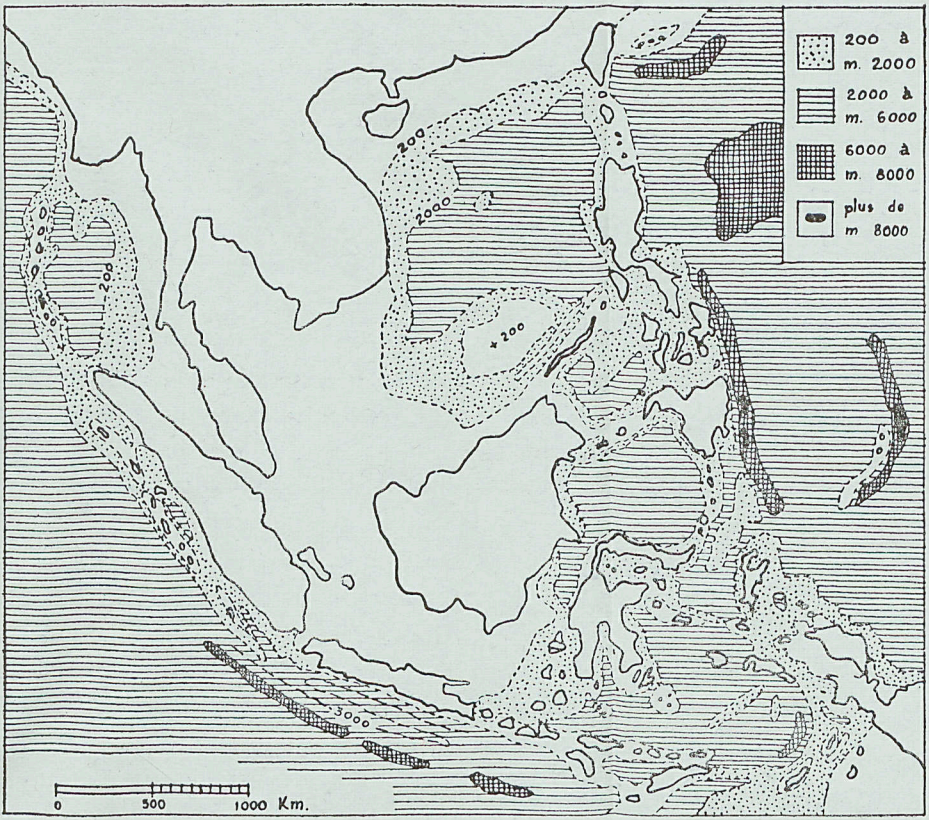


FIG. 8

Les fosses de la Sonde et des Philippines avec leur allure arquée

fluide pour s'étaler loin du point de sortie, se présentent comme des dômes aplatis. L'Islande nous en offre un bon exemple et, dans l'Océan Pacifique, les îles Hawaï dont la pente ne dépasse pas en moyenne 5° jusqu'à 4000 m. d'altitude et plusieurs milliers de mètres de profondeur.

On peut donc concevoir des bombements importants formés sous les eaux marines, mais il est très difficile de les identifier tant qu'ils ne se rapprochent pas sensiblement de la surface.

Récifs coralliens et plateformes coralliennes. — Il faut encore considérer l'activité des organismes coralliens comme un des facteurs de la topographie sous-marine. Sans doute se déploie-t-elle exclusivement au voisinage de la surface, mais elle paraît être responsable de l'existence de plateformes remarquables surtout dans les mers chaudes.

Les édifices formés principalement par les branches des coraux et les débris de leur démolition par les vagues, mêlés à ceux d'organismes à test calcaire qui y sont associés, avec les vases provenant de leur dissolution lentement précipitées dans les eaux abritées, affleurent à peine à la surface, mais s'étendent en profondeur sur plusieurs centaines de mètres, comme l'ont montré les sondages, notamment à Funafuti. Les coraux ne vivant que dans les eaux superficielles assez chaudes et assez agitées (au plus à 80 m. de profondeur) le récif corallien ne peut naître que sur des hauts-fonds déjà existants ; mais il les recouvre d'une croûte qui peut s'étendre en largeur et même croître en hauteur dans le cas où le niveau des eaux monte par rapport à la plateforme.

Le socle des récifs coralliens est formé soit par la plateforme continentale (c'est probablement le cas de la grande barrière d'Australie) ; soit par le bord d'une île océanique isolée généralement, soit par un volcan sous-marin dont le sommet approche de la surface. C'est dans ce dernier cas que paraissent s'être formés la plupart des atolls. Le relief émergé englobe toujours une lagune allongée le long des continents ou grandes îles, entourant en anneau les petites îles, complètement isolée dans les atolls ; le fond de cette lagune, d'allure très uniforme, est recouvert d'une tranche d'eau peu épaisse. Le récif se termine vers le large par un talus extrêmement raide, de 30° à 40° qui correspond à la pente limite que peuvent prendre les débris étalés par les vagues et cimentés au bout de quelque temps par la précipitation du calcaire dissous dans les eaux. L'ensemble du récif est donc une plateforme à peu près à fleur d'eau.

On connaît de nombreux exemples de plateformes entièrement immergées, loin de toute terre, qui paraissent être d'anciens archipels d'atolls. Nous avons déjà cité le banc des Chagos. On en a signalé bien d'autres où les profondeurs très uniformes, mais généralement plus faibles sur le bord du talus, ne sont explicables par aucune autre hypothèse. Il est remarquable que tous ces exemples sont dans les mers chaudes où vivent actuellement les récifs coralliens ; sauf quelques-uns observés à une latitude un peu plus

élevée, dans une zone où le développement de ces récifs est concevable à l'époque tertiaire, quand les températures étaient plus élevées à la surface du globe.

L'immersion de l'édifice corallien a pu être dû à un affaissement orogénique ou épeirogénique ; sans doute l'édifice peut croître en hauteur et se maintenir ainsi au voisinage de la surface, à condition toutefois que l'affaissement ne soit pas trop rapide. L'immersion peut être due aussi à un relèvement du niveau des mers résultant soit de déformations importantes de leurs fonds, soit d'un changement dans leur volume. Cette dernière supposition s'est réalisée à la fin du Quaternaire, quand l'eau fixée dans les immenses calottes de glace qui couvraient l'Europe et l'Amérique a été rendue à la circulation.

III. - Conclusions sur la nomenclature du relief océanique.

L'analyse des caractères généraux du relief sous-marin et l'étude des agents qui semblent en être responsables devrait conduire à quelques conclusions sur la nomenclature.

Cette nomenclature ne peut être évidemment purement géographique comme celle du relief terrestre, où l'on dit : les Alpes, l'Himalaya, les Pyrénées, etc.... Un accident du relief sous-marin doit être désigné par un nom commun, qui est nécessairement une définition, auquel est accolé un nom propre, à inventer pour le cas local.

Pour le choix du nom propre, deux principes ont été tour à tour appliqués : dénomination tirée du nom d'un navire de recherches océanographiques, d'une personnalité scientifique ou d'une notoriété quelconque ; dénomination empruntée à un accident de la surface de la terre ferme voisine. Le premier principe à l'inconvénient de prêter à des confusions, le même nom étant souvent attribué à des accidents de régions éloignées, et le même accident pouvant recevoir le nom de plusieurs personnalités s'il est considéré par deux océanographes de pays différents. Le second principe n'est pas toujours facile à appliquer, même au voisinage des terres ; on peut être très embarrassé pour un accident au centre d'un grand océan. Il semble cependant que la plupart des océanographes soient disposés à s'y rallier.

Les inconvénients d'une hésitation entre ces deux principes sont en tout cas moins grands que les hésitations ou erreurs commises dans le choix du nom commun. Le même nom commun appliqué à plusieurs formes suppose leur ressemblance ; c'est une classification. En se servant de termes déjà usités pour les formes du relief continental dont l'origine est bien connue, on laisse entendre que les mêmes processus ont agi pour l'élaboration de la forme sous-marine considérée.

Les observations présentées ici conduisent à une conclusion très ferme à ce sujet ; elles montrent la nécessité d'abandonner définitivement toutes les appellations tirées d'analogies superficielles

avec des formes du relief continental. On ne doit se servir qu'à bon escient des noms de " vallée „ et de " ravin „, quand il semble qu'il s'agisse vraiment de formes d'érosion continentale immergées depuis peu et ayant conservé leur aspect. Tel n'est pas le cas des grandes dépressions atteignant de 3000 à 5000 m. qui existent dans les océans, ni des fosses abyssales de 6000 à 8000. Il n'y a de vallées que sur la plateforme continentale et exceptionnellement sur son talus. De même on ne doit pas appliquer aux saillies du relief sous-marin des noms empruntés aux saillies des continents et désignant des formes d'érosion réalisées seulement dans les montagnes comme " crête „.

La comparaison entre les formes sous-marines et les formes continentales n'en est pas moins utile. Mais elle doit tenir compte de l'imprécision de nos connaissances du fond des mers. Elle doit surtout ne pas perdre de vue la grandeur des formes. On a pu se rendre compte, par les quelques figures jointes à ce bref exposé, de l'intérêt que présentent des profils comparés de reliefs continentaux et de reliefs océaniques, établis à la même échelle et avec la même exagération des hauteurs. Des assimilations injustifiées auraient été évitées si on n'avait pas oublié l'échelle relativement petite à laquelle sont établies la plupart de nos cartes bathymétriques : un creux rond dont le diamètre est de plusieurs hectomètres ne peut être comparé à une marmite d'érosion dont le diamètre ne dépasse pas quelques mètres ; une dépression allongée dont la largeur est de plusieurs centaines de kilomètres n'a évidemment rien à voir avec une vallée.

Les noms communs des formes du relief sous-marin peuvent être choisis suivant deux principes : un principe purement descriptif, ou un principe génétique. Dans le premier cas, on fait état uniquement d'analogies des formes ; dans le second on cherche à rapprocher celles qui ont la même origine.

Le principe génétique est plus scientifique. Mais notre connaissance de la topographie sous-marine est encore trop imparfaite pour qu'on puisse en recommander l'application. Il semble prudent de s'en tenir à l'emploi de termes neutres, sauf dans un certain nombre de cas assez clairs, en particulier pour la plateforme continentale où l'on peut reconnaître une topographie développée suivant les lois du relief des continents à une époque d'émersion.

La prudence est particulièrement recommandée pour les formes des profondeurs supérieures à 2000 m. On choisira pour les creux et les saillies les termes les plus vagues, en essayant seulement de les différencier d'après le rapport de la longueur de deux axes.

Le cas le plus commun paraît être celui de *cuvettes* ou *bassins*, où le fond, largement étalé, est atteint par des pentes uniformes de 1°, dépressions dues sans doutes aux mouvements épeirogéniques négatifs, revêtues d'une couche de vases pélagiques et immergées entre 2000 et 6000 m. Peut-être pourrait-on réserver le nom de " cuvette „ pour les creux dont les deux axes sont à peu près égaux comme ceux qui terminent au nord le fuseau océanique de l'Atlantique

(Cuvette Arctique, Cuvette Norvégienne) (1). Entre les Iles de la Sonde existent plusieurs cuvettes presqu'isolées formant des mers bordières qui ont déjà leurs noms géographiques. La Méditerranée se décompose aussi en une série de cuvettes.

On pourrait parler plutôt de " bassins „ dans le cas de creux allongés, comme ceux qui s'étendent dans l'Atlantique dans le sens méridien, tel le Bassin oriental de l'Atlantique Boréal, allongé du côté de l'ancien Monde de 10° à 55° de latitude Nord, et le bassin austral qui lui correspond, allongé de l'Equateur à environ 30° de latitude sud.

Les bassins peuvent présenter des digitations, pour lesquelles nous serions disposés à accepter le nom de " golfe „. S'il désigne une forme de rivage, il est appliqué depuis longtemps par les marins à la masse des eaux elles-mêmes. Ainsi le bassin oriental de l'Atlantique nord a un *golfe* correspondant au golfe de Gascogne.

Aux bassins ou cuvettes s'opposent les élévations, pour lesquelles s'offrent les noms neutres de *croupe*, *dôme*, *plateau* ou *plateforme*. Celui de *seuil* ne doit pas être rejeté, mais il convient de le limiter aux cas d'une forme rappelant (en plus grandes dimensions sans doute) ce qu'on appelle dans la topographie continentale un col, et qui se traduit par un dispositif caractéristique des courbes bathymétriques. Ainsi les Bassins ou Cuvettes de l'Atlantique nord sont séparés par des seuils parmi lesquels le " seuil Wyville Thomson „ est connu comme jouant un rôle important dans la circulation océanique (d'après le principe de la nomenclature géographique et non personnelle, on devrait dire: le seuil des Fär-Oer). Nous avons dans la Méditerranée un grand nombre de seuils, qui deviennent parfois des détroits et pour lesquels des noms géographiques sont déjà connus ou faciles à forger. En général, un seuil portant des îles doit être désigné par le nom de ce relief émergé.

Il est souvent possible de distinguer *croupe*, *dôme* et *plateau*. La dernière expression s'appliquera à une élévation uniforme, limitée par des pentes nettement plus fortes sur ses bords. Dôme et croupe représentent des élévations dont la pente diminue régulièrement depuis un centre ou une ligne axiale vers l'extérieur; on parlera de *croupe* quand apparaît un axe d'allongement assez net, de *dôme* dans le cas contraire.

L'Atlantique offre une série de croupes médianes à tracé à peu près méridien, qui s'élargissent parfois en forme de dôme ou de plateau. La croupe médiane de l'Atlantique Nord dessine un arc à concavité tournée vers l'Est, de 50° à 10° au moins de latitude, et s'étale pour former le dôme ou plateau des Açores. Les Iles du Cap Vert sont portées sur un plateau qui mérite de prendre leur nom. Dans le cas de dômes ou plateaux portant des îles volcaniques et eux-mêmes vraisemblablement formés de matières ignées, il est loi-

(1) Nous empruntons la plupart de nos exemples à l'Atlantique, le mieux connu des Océans. On suivra facilement tous les faits invoqués sur la carte bathymétrique de *Groll* ou à défaut sur le planisphère de notre Traité de Géographie Physique (4 ème édition, tome I).

sible de donner à la nomenclature une teinte génétique et nous verrions volontiers inscrits sur la carte des noms comme : Dôme des Açores, Plateau des Canaries, Plateau des Iles du Cap Vert.

L'Atlantique austral offre une croupe à axe exactement méridien, qui ne paraît pas continuer la croupe médiane de l'Atlantique boréal. Le relief compliqué de la région équatoriale dans cet Océan paraît indiquer des déformations orogéniques, avec de véritables fosses ou sillons en voie d'approfondissement.

Nous proposons de conserver le nom de *fosse*, déjà usité dans la nomenclature océanographique, pour les dépressions, dépassant généralement 6000 m., qui ont un axe d'allongement de 5 à 10 fois plus grand que leur largeur. En dehors des fosses de l'Atlantique équatorial, dont la forme et l'extension ne sont pas encore exactement connues, on ne connaît de fosses qu'en bordure des grands Océans, surtout en bordure du Pacifique. Nous avons montré qu'elles semblent comparables aux dépressions bordant les grandes chaînes de plissement sur les continents (fosse de la plaine indogangétique par exemple) ou aux " géosynclimaux „ des géologues, plutôt qu'aux fossés tectoniques dûs à des affaissements entre deux lignes de failles, comme ceux de l'Afrique équatoriale. C'est pourquoi nous rejetons le mot de " fossé „, et, si l'on craint une confusion, nous proposerions celui de " sillon „. Le qualificatif géographique à ajouter au nom de fosse ou sillon peut être tiré facilement des îles voisines ou du bord du continent voisin. Ainsi on dira " Fosse du Japon „ Fosse des Aléoutiennes, des Philippines, des Tonga, des Mariannes, dans le Pacifique Occidental, " Fosse de Porto Rico „ près des Antilles, " Fosse de la Sonde „ dans le Nord Est de l'Océan Indien, " Fosse subandine „ (ou en détaillant Fosses du Chili, du Pérou) dans le Pacifique Oriental.

Aux fosses ou sillons orogéniques, sont associées des saillies également allongées, souvent émergées (chaînes de montagnes du bord occidental des Amériques) mais qui peuvent être immergées sous forme de plateaux ou croupes portant généralement des archipels comme dans le Pacifique. Il ne semble pas qu'on ait découvert de saillie allongée, encore recouverte par les eaux océaniques, dont le relief soit assez accidenté pour mériter le nom de " crête „ rappelant les montagnes des continents. C'est seulement en considérant les parties émergées avec celles immergées qu'on pourrait employer ce terme ; on dirait alors : " Crête des Iles Aléoutiennes „, " Crête des Mariannes „ et particulièrement : " Crête des Sandwich „ pour le relief sous-marin portant les îles de même nom dans l'Atlantique méridional, en y comprenant tout l'arc qui semble prolonger les Andes de Patagonie et les raccorder avec l'ensemble de terres montagneuses considérées jusqu'à ces derniers temps comme une presqu'île du Continent Antarctique.

La précision de la nomenclature peut être plus grande dans la zone littorale, où se développe, souvent sur plusieurs centaines de Kilom. de large, ce plateau, recouvert de 100 à 300 m. d'eaux marines, qui est connu sous le nom de " Plateforme continentale „ ou " Shelf „. Nous en avons analysé les caractères et discuté l'origine.

On sait qu'il est bordé par un talus à pentes relativement fortes et révèle, lorsque sa topographie est assez bien connue, des irrégularités nombreuses. On y reconnaît des vallées fluviales, pour les quelles on peut généraliser le nom de " rias „ appliqué aux estuaires profonds de la Galice espagnole. On dira ainsi : Ria de la Seine, Ria du Rhin (pour les vallées sous-marines de la Manche et de la Mer du Nord qui ont dû jadis écouler les eaux des fleuves en question). Le terme de Fjord doit être réservé aux vallées glaciaires en l'étendant à celles entièrement submergées (Fjord de l'Hudson).

Les saillies de la plateforme continentale sont depuis longtemps désignées sous le nom de " Bancs „. Les marins ont appliqué malheureusement la même dénomination à des plateaux qui sont vraisemblablement des plateformes coralliennes submergées (Banc de Chagos). Les " bancs „ de la plateforme continentale sont eux-mêmes loin d'être tous de même origine. Un certain nombre sont des formes d'accumulation, qui naissent dans les zones où la vitesse des courants diminue (courants de marée ou courant littoral au sens large) et se rapprochent peu à peu de la surface jusqu'à émerger aux mers moyennes ; à partir de ce moment des galets ou sables s'y arrêtent et la flèche littorale se développe rapidement. On pourrait réserver pour ce cas (dont nous avons vu des exemples dans la Mer du Nord) le nom de banc, ou se servir de celui de " barre „. La forme d'un banc ou barre évoluant vers la flèche littorale émergée est celle d'une croupe allongée ou d'un dome, de dimensions très réduites par rapport aux formes auxquelles nous avons appliqué le même nom dans les grandes profondeurs.

L'analyse morphologique a permis de reconnaître des " bancs „ qui sont plutôt des plateaux à bord assez abrupt et représentent, comme dans le Golfe du Maine, des reliefs monoclinaux du type " cuesta „ jadis formés à l'air libre.

Si les marins ne peuvent se résoudre à abandonner le terme général de " Banc „, usité pour tous les fonds se rapprochant de la surface, il conviendrait d'y ajouter un qualificatif distinguant, toutes les fois où celà est possible, les plateformes coralliennes (qui ont souvent été d'abord des plateformes volcaniques) les plateaux monoclinaux ou cuestas, et les barres de sables ou vases qui tendent vers la formation de flèches littorales.

Telles sont les seules conclusions qui nous paraissent pouvoir être présentées sur la nomenclature du relief sous-marin. Nous avouons volontiers qu'il nous serait difficile d'en faire une application correcte et sans hésitations à toutes les formes que révèlent les cartes bathymétriques. C'est que ces formes sont loin d'être encore assez bien connues et que les contours restent souvent vagues ou douteux.

Nous recommandons de choisir, pour désigner des accidents nouveaux révélés par la sonde et dont la nature n'apparaît pas encore nettement, les expressions les plus neutres. Peut-être le désir de préciser invitera-t-il à pousser l'exploration. Dans ce cas, il peut être utile que le marin se rende compte de ce qui doit être recherché pour caractériser la forme entrevue. On devra, avant tout, cher-

cher à definir les dimensions suivant deux axes et à reconnaître la valeur des pentes depuis le fond jusqu'aux profondeurs minima, en découvrant les ruptures de pente. Sur la plateforme continentale, il est relativement facile de faire plus et de ramener des échantillons de fond, d'un grand intérêt lorsqu'ils sont rocheux.

On doit souhaiter que l'essai de mise au point auquel nous avons procédé, sous toutes réserves, soit repris lorsque la documentation sur les profondeurs sous-marines aura été suffisamment enrichie par les sondages acoustiques. On devrait souhaiter la création d'un office centralisant tous les profils assez rapprochés levés par cette méthode et élaborant des cartes à une échelle plus grande que celles qui sont jusqu'ici entre nos mains, avec la collaboration de géographes et géologues.

Une carte générale comme celle du Prince de Monaco a rendu les plus grand services ; il faudrait aller plus loin. Alors seulement on pourra préciser davantage la nomenclature.

12 Juillet 1930.

EMMANUEL DE MARTONNE.