

CONFÉRENCE DU 20 MARS 1956.

Transgressions et régressions marines. Le point de vue d'un océanographe (*),

par JACQUES BOURCART,
Professeur à la Sorbonne,
Membre honoraire de la Société.

Le 25 juin 1900, la Société Géologique de France, réunie sous la présidence d'ALBERT DE LAPPARENT, entendait la célèbre communication d'ÉMILE HAUG : *Les géosynclinaux et les aires continentales. Contribution à l'étude des transgressions et des régressions marines* (1). Ce rythme d'allées et venues de la mer au cours de toute l'histoire de la Terre, dont il tentait de déceler les causes profondes, sera celui de tout son Traité. En opposition, au moins apparente, avec les idées d'ED. SUESS, HAUG affirme que les transgressions ne sont pas universelles; elles ne peuvent donc provenir d'une simple montée des eaux de la mer. Leur rythme ne s'oppose pas dans chacun des deux hémisphères. En outre, et c'est là son apport essentiel, la « loi »

(*) Texte parvenu au Secrétariat le 12 mai 1956.

(1) *Bull. Soc. géol. de France*, (3), 1900, pp. 617-711.

qu'il a mise en évidence : *les transgressions sur les aires continentales correspondent à des régressions dans les géosynclinaux*. Inversement, une régression sur les aires continentales implique une transgression dans les géosynclinaux.

Depuis 1926 ⁽¹⁾, je cherche à comprendre quel peut être, pour un océanographe, la signification des termes employés par HAUG. Le seul mot de *géosynclinal*, depuis JAMES HALL son créateur, a été entendu dans des sens très différents. HAUG l'illustre par une figure représentant l'avant-fosse de la Sonde, sillon extrêmement profond de la mer, en avant d'une guirlande. Dans ce cas, quel peut être le sens d'une régression ?

Dans une note récente ⁽²⁾, R. CIRY éclaire un peu le problème. Il distingue les *transgressions extensives*, qu'il appelle eustatiques; ce sont celles de HAUG sur les aires continentales : invasions très générales de la marge continentale, dont celle du Cénomaniien est le meilleur exemple et les *transgressions tectogènes* : celles qui se produisent à l'intérieur des continents dans des *sillons* progressivement envahis par la mer. Ces sillons sont du type des géosynclinaux des États-Unis ou de l'Oural. Est-il possible de comprendre de cette façon le terme de géosynclinal ou même d'interpréter la loi de HAUG en leur donnant le sens de *zones mobiles* par opposition aux *boucliers* ?

CIRY distingue une troisième catégorie de transgressions, qu'il appelle *transgressions marginales*. Elles sont caractérisées par la pénétration de la mer dans les vallées ou les dépressions de la bordure d'un de ces boucliers. Ce sont les rias, les fjords, les estuaires et les synclinaux envahis du type dalmate. J'ai appelé *ingressions* ce type de transgressions dans mes diverses publications.

Trente-huit ans après la note de HAUG, j'essayais moi aussi, devant la Société Géologique, en 1938, de rechercher la cause des régressions et des transgressions ou, au moins, de retrouver leurs traces sur la *marge* des continents ⁽³⁾. Depuis, je n'ai plus abandonné cette recherche. Elle a aussi préoccupé bien d'autres géologues, au premier rang desquels il faut mettre UMBGROVE ⁽⁴⁾.

⁽¹⁾ La Vie de la Terre, in-4°, A. Quillet, 1927.

⁽²⁾ Sur divers types de transgressions marines (*Bol. R. Soc. Espan. de Hist. Nat.*, Homenaje Hernandez Pacheco, 1954, pp. 161-169).

⁽³⁾ La marge continentale. Essai sur les régressions et transgressions marines. (*Bull. Soc. géol. de France*, [5], VIII, pp. 393-174.)

⁽⁴⁾ The pulse of the Earth. Nijhoff, La Haye, 1947.

Mais, depuis 1925, et surtout depuis la deuxième guerre mondiale, les océanographes, surtout américains, ont mis en évidence une masse énorme de faits tout à fait inattendus dont l'importance géologique est considérable. Je n'en parle pas à la suite de simples lectures. La petite équipe qui s'était groupée autour de moi, où CLAUDE FRANCIS-BŒUF a joué un rôle primordial, s'est efforcée de retrouver en Manche ou en Méditerranée surtout, des exemples comparables. Des missions, accomplies sur de petits bâtiments de notre Marine nationale ou à bord de la « Calypso » du Commandant J.-Y. COUSTEAU, nous ont permis de comprendre leur vraie signification.

Les acquisitions de l'Océanographie sont toujours onéreuses, donc fragmentaires, parfois même hasardeuses. Mais elles ont valeur de fait et non, comme les concepts géologiques, de déductions résultant, il est vrai, d'un très grand nombre d'observations.

Je vais donc essayer de vous faire sentir comment un océanographe réagit à ces diverses hypothèses. Il convient, tout d'abord, d'examiner ce que nous savons de la partie actuellement submergée de la bordure des aires continentales et des traces qu'y ont laissées les invasions ou retraites successives de la mer. Au cours d'une même ère, ces allées et venues ne se produisent que sur la *marge continentale*, terme qu'il ne faut pas confondre avec celui de « plateau continental ». Elle comprend, non seulement les plaines qui aboutissent à la mer, mais encore le plateau sous-marin et la pente relativement rapide qui mène aux plaines océaniques que l'on appelle classiquement talus continental et qu'il est préférable de nommer « pente continentale » (*Continental slope*).

La ligne de rivage, qui impose leurs formes aux pays de nos atlas, n'existe jamais qu'un instant. La mer peut brusquement envahir toute une plaine du continent. Belges et Hollandais en savent quelque chose!

A une époque géologique donnée, on peut établir le caractère terrestre de cette partie submergée de la marge continentale par le relief d'érosion normale qui y apparaît, soit à nu, soit recouvert de sédiments marins ou continentaux. La mer, en effet, quel que soit le rôle que l'on ait pu attribuer aux « courants de turbidité » (dont l'importance est capitale dans la sédimentation marine), ne peut creuser dans la roche dure ni des vallées à méandres encaissés, ni des gorges épigéniques, ni surtout façonner des interfluves entre deux vallées, hérissés de pics et

d'aiguilles. Un tel relief ne peut être dû qu'à l'érosion fluviale. Il n'y a pas non plus exacte coïncidence entre les termes de *plateau continental*, en général défini comme la zone en très faible pente qui descend de 0 à 200 m (ou, plus récemment, à 100 m), de *zone néritique*, c'est-à-dire couverte d'une mince couche de sédiments granulaires très variés et de *zone euphotique*, celle où la pénétration de la lumière permet la vie des algues. La *zone bathyale* des géologues ne coïncide pas non plus avec la *pente continentale* sur laquelle ne se dépose pas obligatoirement une couverture de vase fine avec les restes d'une vie animale de profondeur ou planctonique. La différence est du même ordre que celle qui existe sur les continents entre zones basses et plaines, entre zones élevées et montagnes. Dans l'un et l'autre cas, la notion de *pente* est plus importante que celle d'altitude.

Rappelons que le plateau continental a une largeur très variable : il est très étroit, ou même inexistant, quand il borde une chaîne de montagnes parallèle au littoral ou quand celle-ci s'y termine comme les Pyrénées, mais aussi au fond d'un golfe profond comme le golfe de Gascogne. En Méditerranée, sa largeur est maxima le long de bas-pays comme le Languedoc ou quand il est surmonté par un delta.

La pente continentale n'est pas, comme le suggère la dénomination de « talus », le front d'un grand cône sédimentaire de produits arrachés aux continents par l'érosion, ou celui d'un delta sous-marin, elle est le plus souvent rocheuse, d'un relief très compliqué et incisée de vallées ou de cañons sous-marins. Ces traits continentaux se poursuivent en Méditerranée jusqu'à 2.600 à 2.750 m.

R. Ciry a noté que, dans le passé géologique, les transgressions qu'il appelle eustatiques, c'est-à-dire celles qui sont très générales, sont caractérisées par leur *progressivité* d'une part, d'autre part par leur *continuité*; on peut ajouter par la finesse et le caractère pélagique de leurs dépôts. Tel n'est pas le cas du plateau continental actuel, essentiellement couvert, à l'exception des « grandes vasières » (1), de sables variés d'origine biologique ou terrigène (essentiellement quartzeux). Ces sables contiennent, en grains ou concrétions, certains minéraux comme la glauconie et les phosphates qui n'ont pu se former semble-

(1) La grande vasière du golfe de Gascogne (entre la Gironde et Audierne), celle du golfe du Lion et celle du Maroc atlantique.

t-il qu'à l'intérieur de vases aujourd'hui disparues. La faune de ces sables paraît aussi dater d'époques variées, quelque chose comme ce qui se passe dans les dépôts oolithiques de l'Aalénien. Ils semblent vannés, presque complètement débarrassés des particules de la « neige » planctonique (1). Une stratification est difficile à y observer. De telles caractéristiques ne dépendent nullement de la profondeur : elles peuvent s'observer sur toutes les plates-formes balayées par les courants et sur les sommets des rides ou montagnes quelle que soit leur profondeur, notamment des « guyots » (2). Il semble résulter de ces faits que la part des régressions est très grande dans la constitution actuelle du plateau.

Inversement, les grandes séries transgressives, comme celles du Jurassique, du Crétacé ou, à une plus petite échelle, du Pliocène ne comportent guère que des dépôts vaseux ou calcaires à grain très fin et uniforme. Si elles se terminent souvent par des facies peu profonds ou même saumâtres, ceux-ci gardent toujours le même caractère granulométrique. Bien plus, comme c'est le cas pour le Cénomaniens africain ou saintongeais, elles débutent souvent par des argiles de marécages. A l'heure actuelle, des types différents de sédiments peuvent coexister dans deux régions adjacentes. Aux sables grossiers, voire graveleux, du golfe du Lion ou de la Corse occidentale, s'opposent les vases du golfe concave de Nice, atteignant presque le littoral. Notons la brusquerie, parfois, de l'avance marine : F. OTTMANN a montré que, dans la cuvette de Vaugrenier, près d'Antibes, des sables profonds succèdent, au Quaternaire ancien, à des marnes calcaires lacustres. La rupture d'un cordon, après une seule tempête, transforme un lac profond d'eau douce en un golfe marin.

Les transgressions sur les aires continentales ont été attribuées à des mécanismes variés, chacun admis par une certaine école de géologues.

La première théorie les met au compte de l'usure des continents par les vagues de la mer : c'est la *théorie de l'abrasion* qui a été essentiellement soutenue par MURRAY, RAMSAY, RICHTHOFEN et, en général, par des morphologistes. D. W. JOHNSON est allé jusqu'à parler de « pénéplaine marine ». On a pourtant

(1) RUTH CARSON, *The Sea around us*.

(2) Volcans sous-marins profonds dont le sommet a été tronqué par les vagues.

reconnu que la progression de cette usure ne pouvait guère se faire qu'en admettant, soit une montée continue du niveau marin, soit un affaissement du bord du continent, c'est-à-dire une transgression.

La *théorie eustatique* de SUËSS ne cherche d'autre cause aux transgressions que cette inondation par une montée du niveau marin; les régressions ne s'expliquant, inversement, que par une baisse générale des océans. Pour son auteur, leur montée

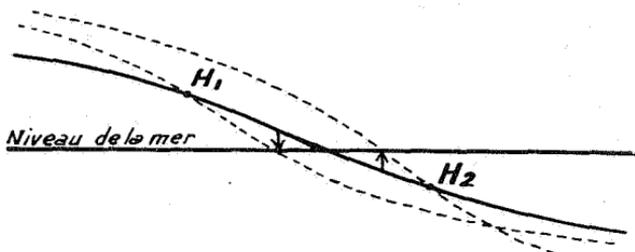


FIG. 1. — Résultat d'une migration du pivot d'une flexure continentale.

H_1 : rentrée du pivot (avec ingression et soulèvement du continent);
 H_2 : sortie du pivot (avec soulèvement du fond océanique qui subira l'érosion marine).

Figure établie par C.-A. COTTON pour illustrer la théorie de J. BOURCART (*Scient. Monthly*, LXXVIII, 3, 1954).

résultat de la réplétion des bassins océaniques; leur baisse, de l'effondrement de leur fond. Mais, depuis TYLOR, les géologues du Quaternaire font jouer le rôle principal aux rétentions et aux fusions glaciaires. Les transgressions eustatiques font remonter la ligne de rivage à une altitude qui est la même dans le monde entier. Au moins au Quaternaire, il suffirait de la déterminer dans les régions supposées stables pour dater une formation. Les mouvements du continent ne joueraient un rôle que dans les zones « mobiles », en voie de plissement.

Le travail statistique qu'avait entrepris HAUG aboutissait à la conclusion que les transgressions n'étaient pas générales. Outre les difficultés géophysiques qu'implique l'hypothèse de SUËSS, il est impossible pour lui d'admettre ce mécanisme, néanmoins encore invoqué par beaucoup de géologues.

La théorie orogénique est le *leit-motiv* du Traité de HAUG : les transgressions et les régressions sont dues à des mouvements de l'écorce. Le développement considérable que PIERRE PRU-

vost a donné à la notion de *subsidence*, c'est-à-dire à la formation progressive de cuvettes ou de bassins, m'a permis de comprendre plus facilement la pensée de HAUG. On peut penser qu'il n'y a entre ces cuvettes et les grands bassins océaniques qu'une différence de dimension. Mais selon moi, la subsidence a comme corollaire une *surrection* des zones anticlinales. La limite entre les mouvements d'abaissement et de surrection est une *flexure*; celle qui sépare les continents des océans est la *flexure continentale* (fig. 1). Cette notion, qui a été très critiquée, ne m'appartient pas entièrement. Elle avait déjà été envisagée par J. WALTHER, CHAMBERLIN et SALISBURY, W. M. DAVIS et, presque en même temps que moi, par O. JESSEN (*Die Randschwelle der Ozeanen*). Elle me semble aujourd'hui presque une évidence ⁽¹⁾.

En outre, l'histoire géologique nous apprend qu'à certains moments, les reliefs terrestres anticlinaux ou synclinaux semblent à peu près disparus, soit du fait d'une détente, soit d'une pénéplation. La mer envahit une surface plate et unie, sur laquelle elle ne dépose que des sédiments fins. Plus de sables, plus de graviers, même fluviatiles; il semble aussi que le climat devienne uniformément tempéré. Cette détente peut avoir pour conséquence la diminution des creux sous-marins. Les mouvements de part et d'autre de la flexure changeraient de sens. Toute distinction entre zones néritique et bathyale deviendrait impossible.

Examinons maintenant à la lumière des faits océanographiques ces trois hypothèses :

THÉORIE DE L'ABRASION.

L'action de la mer sur une côte rocheuse — les exemples en ont été à peu près toujours choisis dans la Manche ou dans l'Atlantique — serait de découper dans le continent une entaille presque verticale, la *falaise*, suivie plus ou moins à angle droit par la *plate-forme d'abrasion*, doucement inclinée, qui se poursuivrait sans interruption par le plateau continental. La falaise serait essentiellement due au choc des lames; la plate-forme d'abrasion, au flot de retour qui use la roche grâce aux galets, graviers ou sables qu'il entraîne. Dans plusieurs publications

(1) C. A. COTTON consacre une note récente (*Ann. Soc. géol. Belg.*) à l'hypothèse de la flexure continentale. (Note ajoutée pendant l'impression.)

et dans un petit livre : « Les Frontières de l'Océan » (1), j'ai montré que les falaises ne se formaient sur le littoral que dans des roches ébouleuses; en outre, elles ne sont pas obligatoirement dues à l'action de la mer : on les retrouve dans les estuaires et même dans les vallées fluviales. Malgré l'opinion courante, le recul de la falaise ne peut se poursuivre indéfiniment. L'exemple le plus typique est celui des falaises découpées par la mer dans les dunes de sables meubles du cordon qui barre les baies à plages. Si le niveau de la mer et la hauteur des vagues de tempête restent constants, le creusement trouve une *limite* dès qu'il se forme une surface concave, suffisamment peu inclinée pour que les lames ne déferlent pas, et que le surplus d'énergie du flot de retour se dissipe sous forme de tourbillons. La forme en creux ainsi réalisée est du type de celle que REHBOCK conseillait pour les déversoirs des barrages hydrauliques afin de supprimer toute érosion. C'est cette forme que doivent réaliser les digues bien faites destinées à protéger ce cordon dunaire. Il n'y a plus alors aucun recul. La notion de falaise implique celle d'une entaille vive, c'est-à-dire d'une destruction continue. Les côtes granitiques de la Bretagne, les côtes calcaires abruptes ou même verticales de Marseille ou du pays niçois ne sont pas des falaises (2). Quant à la plate-forme d'abrasion, ou au plateau continental, la faible efficacité de l'usure marine est révélée par les nombreuses traces de dépôts meubles continentaux, peu résistants à l'érosion, qu'ils portent : limons des plateaux sous-marins, vases de marais et surtout tourbes. Une très faible épaisseur de sable les recouvre.

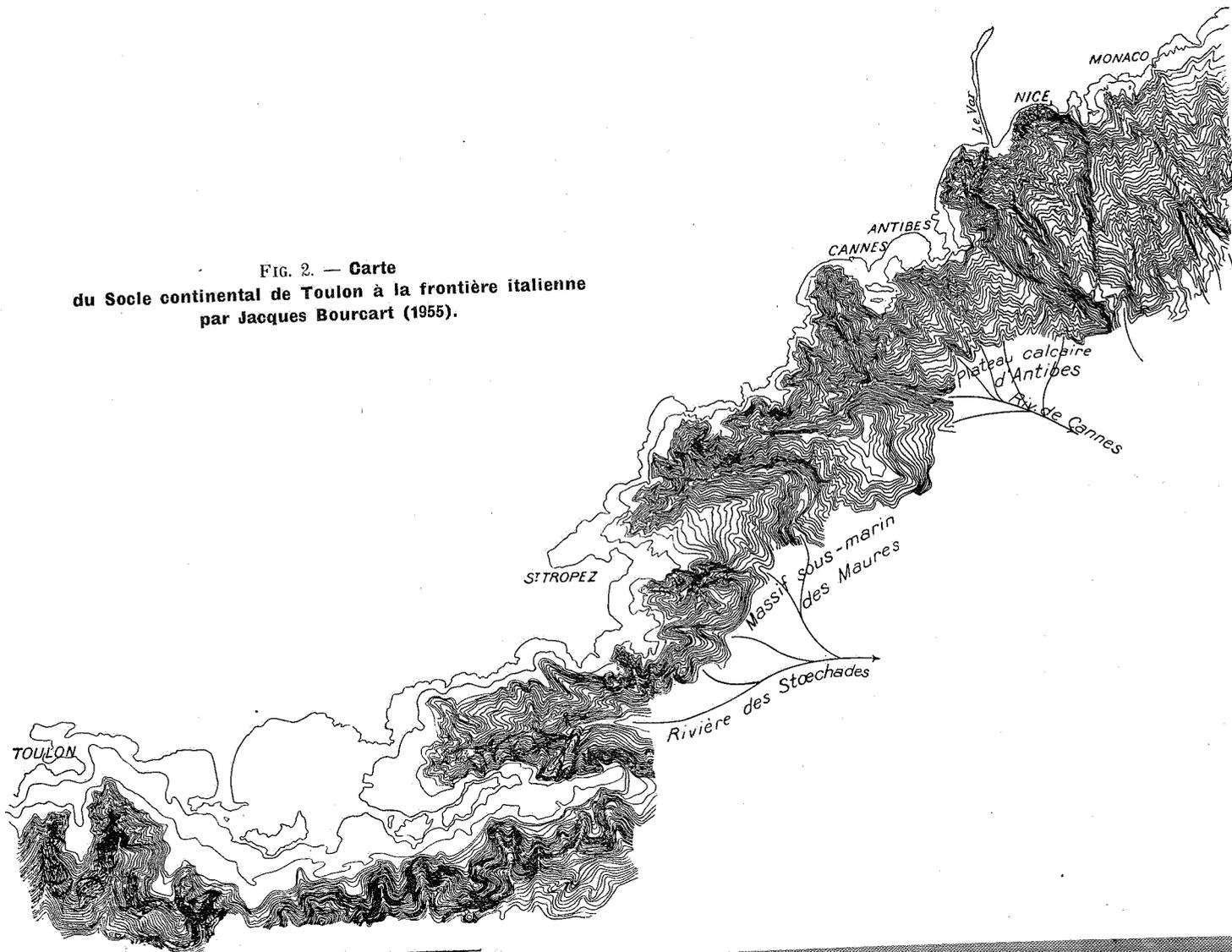
Tous les golfes et toutes les baies du littoral de la France, de la frontière belge au pays Basque, sont remplis par des vases et des tourbes flandriennes (3), substratum de toutes les plages, qui apparaît depuis quelques années à nu. Il ne manque qu'au niveau des pointes. C'est sous ces formations terrestres qu'apparaît, au voisinage du port artificiel d'Arromanches, le gisement à faune froide marine, découvert par L. GUILLAUME, seul exemple

(1) Coll. « Sciences d'Aujourd'hui », ALBIN MICHEL, 1952.

(2) Le fait que des falaises séparent du continent des dépôts sous-marins beaucoup plus récents que ceux qu'ils forment : craie en Normandie jurassique ou hercynienne et en Bretagne granitique, Éocène, Pliocène, Quaternaire marin en Bretagne, ne peut s'expliquer que si les falaises actuelles correspondent à des flexures.

(3) La palynologie de la plupart indique qu'elles sont d'âge atlantique ou boréal, à l'exception de rares tourbes « néolithiques » à *Corylus*.

FIG. 2. — Carte
du Socle continental de Toulon à la frontière italienne
par Jacques Bourcart (1955).



certain de la transgression appelée normannienne. En Bretagne granitique, la craie et le nummulitique, qui vont prendre une grande extension, comme l'a montré L. DANGEARD, sur tout le plateau continental, apparaissent dans ces conditions.

La partie la moins profonde du plateau continental porte également la trace d'un modelé terrestre : rivières sous-marines ⁽¹⁾ qui prolongent les rias jusqu'à — 50 m en général, avec méandres, coudes de capture, etc., dont le lit semble avoir été tracé dans les sédiments meubles; très nombreuses îles ou écueils qui ne sont que les monadnocks qui accidentaient la surface d'une ancienne pénéplaine due à la décomposition subaérienne. La couverture de limons de cette pénéplaine a été aujourd'hui, comme nous l'avons vu, incomplètement enlevée par la mer; elle subsiste pourtant sur les plus grandes îles.

Les mêmes caractéristiques terrestres se retrouvent sur le plateau continental profond : les pierrailles du *head*, produit de coulées boueuses, peuvent être draguées en Manche jusqu'aux bancs de la Petite ou de la Grande-Sole; des limons rouges avec gros graviers quartzeux remplissent à — 100 m, dans la rade de Toulon, des lapiés creusés dans les calcaires quaternaires. En de nombreux points de la Méditerranée ou du golfe de Gascogne, on drague des galets polygéniques qui ne peuvent venir que de l'intérieur du continent.

Mais le trait le plus remarquable de ce relief du plateau est la présence à peu près constante de grandes vallées ou cañons sous-marins. Ceux-ci ne semblent manquer que sur le littoral atlantique de la Vendée au fond du golfe de Gascogne (où existe le plus anciennement connu d'entre eux : le Gouf de Cap-Breton) et du Maroc à la Mauritanie. Ils prolongent toutes les vallées subaériennes; mais quelques-uns prennent naissance dans une zone encore sous-marine. En Méditerranée, ils sont aussi nombreux sur le littoral synclinal, concave, du Languedoc (plateau formé de terrains miocènes ou plus récents) que sur le littoral anticlinal, convexe (hercynien ou granitique), du Massif des Maures (fig. 2) ou dans le golfe de Gênes (probablement pliocène). Ils existent sur tout le littoral de la Corse et de la Sardaigne occidentales ainsi que de l'Algérie. Le plus souvent, le cañon proprement dit ne commence qu'à une profondeur de — 80 à 100 m; nous avons pu montrer que la raison en était que toute sa partie supérieure était bouchée par du sable, en

(1) Le nom de cañon étant réservé aux entailles profondes.

quelque sorte sucé par les courants qu'il canalise. Sur terre, dans les mêmes conditions, la partie tout à fait inférieure des gorges est ainsi masquée par le cône de sable ou d'arène, confluant avec la plaine maritime. Il est encore plus extraordinaire de constater que le pays continental submergé, formé de calcaires mio-pliocènes, à relief continental vigoureux ⁽¹⁾, qui s'étend entre le cap Corse et les environs de Gênes, a ses deux bords entaillés par de profonds cañons sous-marins.

Les parois rocheuses des vallées sous-marines ont été décelées jusqu'à 2.000 m au large de Toulon, 2.600 m au large de la Corse, 3.000 m pour celui de l'Hudson. Les vallées se terminent, en général, par un delta sous-marin, incisé, lui-même, selon son axe.

Attribués, dès leur découverte, il y a près d'un siècle, à l'érosion de cours d'eau subaériens, les cañons sous-marins ont été expliqués en faisant appel à une multitude d'hypothèses, dont il ne subsiste aujourd'hui que deux : la plus ancienne, un creusement subaérien par l'eau courante et celle, plus récente, soutenue par DALY, KUENEN, EWING, le creusement sous-marin par des « courants de turbidité », essentiellement lors de la dernière transgression post-glaciaire.

La difficulté que les géologues ont éprouvée à admettre l'idée d'un creusement subaérien, résulte de la grande profondeur où se trouve actuellement la partie inférieure des cañons. Dans l'hypothèse eustatique, elle impliquerait un abaissement de niveau de près de 2.000 m. Celui-ci est contredit par l'uniformité, depuis le Pliocène, de la salinité de la Méditerranée, démontrée par les faunes de Foraminifères des carottages profonds de PETERSSON. L'hypothèse de la « flexure continentale » évite cette difficulté ⁽²⁾. Par ailleurs, les courants de turbidité — au moins ceux qui ont été réalisés jusqu'ici — ne sont pas capables de creuser des roches dures, comme le granite, les microgranites, les calcaires compacts, à fortiori de creuser des méandres, des gorges épigéniques (comme celle de la rivière de Saint-Tropez) ou des vallées parallèles au littoral (comme la rivière des Stoéchades). Les vallées affluentes, jusqu'aux grandes profondeurs, ne sont pas non plus explicables. Il est

⁽¹⁾ Il porte, à mi-distance entre le cap Corse et le littoral ligure, une étroite pyramide tronquée de 35 m (profondeur 125 m).

⁽²⁾ La partie inférieure du cañon est abaissée, la partie supérieure, surélevée, peut avoir été une partie arasée.

encore plus difficile d'admettre le façonnement d'un pays sous-marin, dont l'altitude moyenne est actuellement de — 200, par des courants de turbidité.

Si, aujourd'hui, les parois des cañons sont plaquées de vases molles comme l'ont révélé les plongées du « Bathyscaphe », leur fond est dur avec de nombreux cônes d'animaux pélophages. Nous y avons même dragué souvent du sable ou des galets fluviatiles, sans aucune couverture de vase. Aucune trace de courants de turbidité n'y a été décelée. Seul le bouchon sableux, qui les comble le plus souvent entre le littoral et 90 m, peut être dû à leur action.

Mais l'attention s'est beaucoup plus portée sur les cañons que sur les interfluves qui les séparent et qui portent de nombreux sommets ou même pics qui ne peuvent évidemment s'expliquer par l'érosion de courants de turbidité, non plus qu'un modelé de détail, absolument caractéristique de la nature de la roche : piliers dans le granite, aiguilles dans les schistes, marches d'escalier dans les calcaires. La difficulté de raccorder les gorges sous-marines aux vallées terrestres provient, soit du fait que certaines d'entre elles n'ont jamais débuté sur le continent actuel, soit que leur raccordement est oblitéré par le prisme des dépôts continentaux ou par un delta.

J'ai toujours soutenu que leur creusement était subaérien. Mais, à peu près en accord avec la dernière hypothèse de SHEPARD, je pense que les vallées de la Méditerranée ont été successivement creusées à la fin du Miocène, à la fin du Pliocène et au Quaternaire moyen. Aux époques de transgression, des courants maintenaient probablement leur partie inférieure vide de sédiments quand la partie supérieure pouvait se combler. Telle est d'ailleurs l'histoire du Rhône continental, fleuve de la fin du Miocène, envahi par la mer plaisancienne, recreusé au Villafranchien. Les sondages de la SNPLM en Camargue ont retrouvé, sous son delta, le cañon pontien, recouvert de plaisancien. En Algérie, L. GLANGEAUD a montré la généralité de cette disposition.

Rappelons que les cañons incisent non pas seulement le plateau continental mais la pente du socle. Sur celle-ci, la mer n'a donc pas effacé les traces du modelé terrestre aux époques de régressions.

L'hypothèse de l'abrasion est aussi impuissante à rendre compte de la pénétration de la mer dans les parties du conti-

nent qui, par ailleurs, présentent à l'intérieur les traces d'une surrection encore active, c'est-à-dire les estuaires à méandres autrefois encaissés, les rias et les fjords. L'explication de ces traits du paysage par une submersion de caractère eustatique est également impossible. Ces côtes ne sont pas plus « de submersion » que celles des Flandres, subsidentes, ne sont des « côtes d'émersion ». C'est pour lever cette antinomie que j'avais proposé en 1926, l'hypothèse de la flexure continentale.

TRANSGRESSIONS D'ORIGINE EUSTATIQUE.

Au cours de l'immense enquête qu'avait nécessité la préparation de « La Face de la Terre », Ed. SUSS avait pensé établir la simultanéité dans le monde entier des régressions et des transgressions. Cette simultanéité est d'ailleurs imparfaite. Je n'en citerai que deux exemples : A l'Est du Massif Central du Haut-Atlas marocain, la transgression secondaire dans le sillon atlasique débute au Lias et se poursuit jusqu'au Bajocien; le Bathonien est déjà lagunaire; tout le Jurassique supérieur et le Crétacé inférieur manquent. Au contraire, à l'Ouest du Massif Central (fosse des Hahas, étudiée par Ed. ROCH), le Lias et le Jurassique inférieur sont très réduits; le Jurassique supérieur et le Crétacé inférieur, comme au Portugal, prennent un développement considérable. De même, il y a opposition absolue entre les transgressions et les régressions dans les Balkans et sur la plate-forme roumaine, d'une part, et dans les Dinarides, c'est-à-dire dans le géosynclinal adriatique, d'autre part. Dans ce dernier cas, il semble s'agir de transgressions dans un géosynclinal, dans le premier, sur une aire continentale.

Il semble bien, pourtant, que certaines transgressions, comme celle du Cénomanién ou celle du Pliocène, couvrent des espaces considérables. Elles paraissent débiter brusquement, remplir d'abord des dépressions et des vallées de la marge continentale, puis ensevelir tout le relief sous leurs sédiments. SUSS pensait qu'elles se produisaient par débordement des océans à la manière d'une inondation. Il en cherchait la raison dans la réplétion progressive des bassins océaniques par les sédiments qui s'y accumulent. Inversement, il attribuait les grandes régressions de l'histoire géologique (Permo-trias, Pontien) au retrait des eaux par suite d'une augmentation de capacité de ces bassins; celle-ci serait due à l'effondrement de leur tréfond.

Pour ce qui est de la réplétion de bassins océaniques, il est assez difficile de connaître aujourd'hui le volume des sédiments qui peut s'y déposer dans un certain intervalle de temps. D'une façon générale, la pente du socle continental se poursuit à peu près nue, jusque vers 2.700 m, comme l'ont montré les levés du *Lamont Geological Observatory* (équipe de MAURICE EWING) ainsi que les coupes en travers du golfe de Gênes que nous avons pu obtenir au sondeur EDO, à bord de la « Calypso ». Parfois, au pied de la pente, on peut encore déceler une ride (*Continental rise*) dont la nature sédimentaire ou éruptive n'a pu encore être fixée. Mais elle est déjà en partie ensevelie dans la vase. La plaine abyssale débute alors brusquement. Elle est pratiquement horizontale. Seuls des reliefs volcaniques, ou des îles de cette nature, peuvent émerger du manteau de vase.

La pente continentale n'est pas le flanc d'un synclinal que serait le bassin océanique. Elle est de constitution géologique très variée, tantôt faite de roches sédimentaires plus récentes que celles du continent, comme dans le cas de la côte atlantique au large de New-York, de la Manche vers l'Atlantique ou du golfe du Lion, tantôt de roches plus anciennes, comme de Marseille à Cannes où l'ensemble du socle appartient à un grand massif des Maures granitique et hercynien.

La pente continentale s'est créée postérieurement au Pliocène : dans le Roussillon, les cañons sont entaillés dans le Vindobonien; dans le Pliocène, à Nice et sur le pays continental corso-ligure. De même que les mouvements orogéniques (HAUG disait épirogéniques) ont donné à certaines chaînes une forme générale tout à fait indépendante de la stratigraphie et de la tectonique de détail, le relief sous-marin actuel de la Méditerranée ou de l'Atlantique est « antitectonique », en harmonie seulement avec l'orographie ⁽¹⁾. Il en est vraisemblablement de même de la Dorsale atlantique où l'on peut probablement relever, transversalement, les traces des plis hercyniens.

Les plaines océaniques, horizontales en surface, correspondent probablement au remplissage de cuvettes par une très grande épaisseur de sédiments très récents. WEIBULL, utilisant pour l'évaluer, à bord du « Skagerrak », puis de l' « Elie Monnier », la méthode de la réflexion des ondes explosives (criticable par

(1) D'une façon générale, le relief actuel des montagnes méditerranéennes (comme le montrent leurs cônes torrentiels) est « pontien » et surtout « villafranchien » (post-pliocène).

rapport à celle beaucoup plus sûre, mais plus onéreuse, de la réfraction), pense que la puissance des vases molles atteint dans la mer Tyrrhénienne de 2.500 à 3.000 m. La mission suédoise des grandes profondeurs, sur l'« Albatross », a mesuré, entre Madère et la Dorsale atlantique, trois échos : le premier, indiquant vraisemblablement le toit de roches mal consolidées à 5.150 pieds (1.713 m), le second à 7.350 pieds (roches un peu plus dures), le dernier, vraisemblablement causé par le bed-rock, à 11.600 pieds, record de la mission (1). Cette couverture est extrêmement mince, voire nulle, dans toute une partie du Pacifique et de l'océan Indien.

L'épaisseur considérable de ce remplissage des bassins ne peut d'abord s'expliquer par la simple accumulation de sédiments planctoniques ou flottés, de cette neige qui tombe du ciel de la mer, comme dit RUTH CARSON. On peut supposer, en suivant MAURICE EWING, qu'elle provient surtout des matériaux transportés par les courants de turbidité. J'ai pu prouver l'existence de ceux-ci en carottant des sables continentaux, avec quartz et Foraminifères fossiles, à 2.900 m au large de Bougie et de petits graviers fluviatiles, accompagnés de sables à 500 m dans la baie des Anges, devant Nice. Certains de ces courants pourraient être déclanchés par les crues des fleuves terrestres, mais la plupart supposent de fortes pentes du socle continental. Lors des réparations des câbles sous-marins, brisés par le tremblement de terre d'Orléansville, nous avons pu mettre en évidence, avec L. GLANGEAUD, non seulement des sables, mais des graviers, de gros galets et même un véritable bloc de marne tertiaire. Les éléments ne peuvent s'expliquer que par des éboulements, consécutifs à des « collapsés », provoqués par le séisme.

Il semble donc que la pente continentale algérienne est, non seulement très raide, mais augmente encore.

Il est naturel d'admettre que cette réplétion implique comme dans le cas des géosynclinaux, que le fond des bassins s'affaisse en même temps que les sédiments s'y accumulent, jusqu'à ce qu'une réaction isostatique, toujours lente à venir, inverse le mouvement. Mais la situation est, en réalité, très différente

(1) Les chiffres donnés par EWING pour la même région par la méthode de réfraction, sont beaucoup plus faibles : 0,500 à 1 km. HILL et LAUGHTON, dans l'Atlantique nord, donnent tantôt de 2 à 0,500 km, tantôt un relevé de surfaces rugueuses, nues.

de celle du fond solide des géosynclinaux ou sillons qui, en principe, est de même nature que les bords. Les recherches géophysiques, aussi bien en Méditerranée que dans l'Atlantique, suggèrent que le fond de ces bassins, à partir de la fin de la pente océanique, est particulièrement lourd et, partiellement au moins, simique. Ceci est en harmonie avec la nature

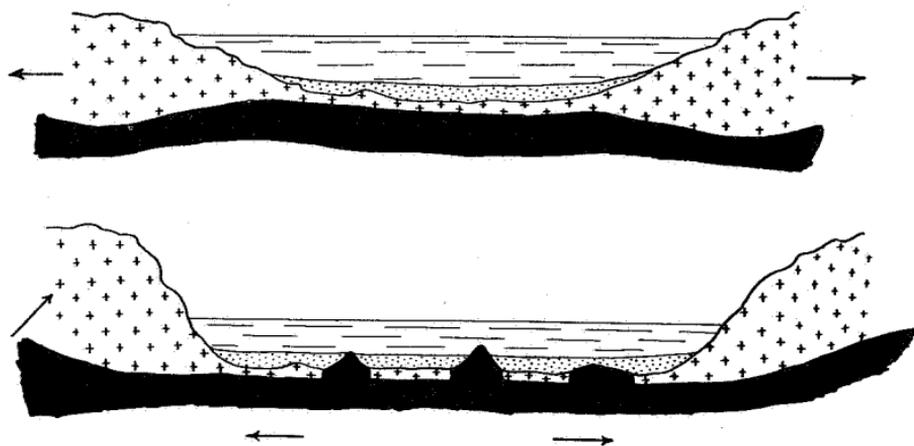


FIG. 3. — **Essai d'interprétation d'une théorie des régressions à la suite d'une distension du fond d'une mer.**

1 : État initial; 2 : Régression par distension.

- | | |
|--|------------------------------|
| | Magma simique. |
| | Sial et roches du continent. |
| | Sédiments. |

toujours éruptive des îles ou reliefs sous-marins qui y apparaissent. Les prélèvements réussis sur la Dorsale atlantique ont donné des serpentines. H. Cloos, en 1951, interprétait celle-ci comme résultant de l'extravasation d'un matériel plastique à travers une fente. L'existence d'un tréfond simique ou ultra-simique dans les cuvettes océaniques impliquerait alors sa descente isostatique, plutôt qu'une remontée comme dans les géosynclinaux remplis de sédiments. En outre, au cours d'une distension, la pénétration de magma à travers les fissures de ce plancher augmente même la dilatation qu'elle subit déjà du fait de la tuméfaction continentale. Cette dilatation serait suffisante pour rendre compte d'une augmentation de volume des cuvettes.

En revanche, le mécanisme invoqué par SUESS pour expliquer les régressions générales, l'effondrement de leur fond, se heurte à une impossibilité géophysique. Qu'il s'agisse d'un remplissage sédimentaire consolidé ou meuble, il ne peut évidemment s'effondrer dans un substratum simique plus lourd. Admettre une poussée d'origine intrusive vers le continent à la fin des époques de *distension*, nous permet de comprendre l'opposition entre les mouvements et la stratigraphie du géosynclinal adriatique, soumis à la compression, et l'histoire des bassins de distension, hespérique ⁽¹⁾, tyrrhénien ou égéen. Sous l'effet de cette distension, des masses autrefois continentales, comme le continent égéen, peuvent être totalement envahies par la mer.

Les géologues du Quaternaire, depuis TYLOR, ont mis l'accent sur une autre cause de régression et de transgression des mers : la diminution de leur volume d'eau par stockage dans les glaces polaires et dans les glaces de montagnes ou leur augmentation par fusion lors des périodes interglaciaires « chaudes ». On sait le développement que DEPÉRET, BAULIG, ZEUNER et beaucoup de préhistoriens ont donné à cette hypothèse dont ils ont fait une théorie, rigoureuse, rapidement devenue orthodoxe. Ce n'est pas le lieu ici de la discuter. Mais il faut d'abord remarquer qu'elle n'est pas générale, ne pouvant évidemment rendre compte des fluctuations de niveau antérieures au Quaternaire. Et même pour cette époque, il n'est pas possible d'admettre uniquement le mécanisme qu'elle invoque pour expliquer la baisse progressive de la Méditerranée depuis le Pliocène. Au Sicilien, la majeure partie des glaces aurait dû être fondue (on n'en connaît pas encore le volume actuel qui, en général, est évalué *ad hoc* pour expliquer la fréquence de la rupture de pente du socle continental à — 100 ou à — 200 m); au Tyrrhénien, époque « chaude », il n'en resterait à peu près que le tiers; le minimum de déglaciation se trouverait à l'époque actuelle. Ces déductions logiques paraîtront invraisemblables aux géologues.

Des oscillations de niveau de cette origine ont été réellement constatées. Elles peuvent être mises en évidence par les moyennes des enregistrements marégraphiques dans le monde entier,

⁽¹⁾ Le nom de mer Hespérique a été donné par les océanographes italiens à la partie de la Méditerranée occidentale qui est à l'Ouest de la Corse et de la Sardaigne.

en admettant que les variations dues aux déformations de l'écorce, décelées par des nivellements de précision successifs, se compensent mutuellement comme des variations fortuites. PROUDMAN, GUTENBERG, PH. KUENEN pensent que le niveau général des mers s'est relevé entre 1860 et 1940 de 7 à 8 cm par siècle ⁽¹⁾ : transgression de 1860 à 1880, régression jusqu'à 1890, puis reprise de la transgression; ce qui correspond à peu près aux variations du glacier du Rhône (maximum en 1850; minimum en 1900) et au réchauffement constaté dans la température superficielle de l'Atlantique nord : remontée de la morue vers le Groenland, apparition de seiches au Danemark, etc. et à une recrudescence des dégâts causés par la mer sur la côte normande.

J. E. LIBBY, dans une étude sur les variations de niveau des Grands Lacs des États-Unis, a montré que, concurremment avec les différences de niveau observées sur la côte Pacifique et sur la côte Atlantique, une déformation réelle du continent se produisait : l'Amérique se soulevant vers le NE et s'abaissant vers le SE. Cette déformation peut résulter d'un simple déplacement des masses lourdes sous-crustales. L'ordre de grandeur des variations du littoral, attribuées à cette cause, serait le même que celui des variations d'origine eustatique.

TRANSGRESSIONS D'ORIGINE OROGÉNIQUE.

Les variations de niveau de la mer, dues aux glaciations et aux déglaciations, sont donc bien réelles, mais insuffisantes pour expliquer à elles seules les transgressions et régressions du Quaternaire méditerranéen. D'autre part, on ne peut évidemment faire appel à elles pour expliquer celles des époques géologiques antérieures où, vraisemblablement, il n'y avait pas de glaces polaires. Or, si le Quaternaire se distingue des périodes géologiques antérieures, c'est essentiellement par l'activité orogénique qui s'y est manifestée. La plupart des chaînes de montagnes actuelles datent comme nous l'avons dit, d'une époque entre le Pliocène et le début du Quaternaire. Avec A. CAILLEUX, nous admettons qu'il y a toute raison de croire que cette activité continue aujourd'hui. Il semble donc nécessaire d'attribuer l'essentiel des variations des niveaux marins à des mouvements de déformation du globe.

(1) 1.300 mm par millénaire pour A. CAILLEUX.

On peut penser, en modifiant la théorie de SUESS que si, aux époques de régression, la forme en voûte des continents s'accroît (1) ainsi que la pente de leur socle, de part et d'autre d'une mer, le fond de celle-ci subit une traction qui a pour résultat l'augmentation de la capacité du bassin (largeur et profondeur moyenne). Cette traction extensive produit des fractures par où le magma simique pourra pénétrer. Ces intrusions peuvent atteindre la surface du remplissage sédimentaire comme dans le Pacifique et l'océan Indien, ou même arriver au jour sous forme de dorsales ou de guyots (volcans submergés progressivement).

Mais à ce moment, l'isostasie conduit à un enfoncement des cuvettes. Celui-ci s'accroît quand la détente se fera dans les continents (suivie elle-même de fracturation et d'intrusions simiques). A ce moment, la pente du socle continental et la capacité auront diminué et une transgression générale pourra se produire (fig. 3).

Des exemples à petite échelle peuvent se trouver dans certains sillons : le basalte a pénétré dans les cuvettes occupées par les couches rouges et le Crétacé dans l'Atlas Central marocain (Tadla). JAN BRUNN (2) dans les mêmes conditions admet que les roches vertes se sont fait jour dans le sillon hellénique au cours d'une période de distension.

Les transgressions — il vaudrait mieux dire, les avancées de la mer — dans les sillons ou géosynclinaux intracontinentaux semblent au contraire correspondre à une accentuation de leur creux par compression. Les invasions de la mer progressent donc suivant leur axe. Sur leurs bords, comme l'exem-

(1) Le fond des océans Indien et Pacifique est vraisemblablement, à l'intérieur de la « ligne d'andésite », basaltique avec une couverture sédimentaire (« Capricorne » et « Challenger II ») qui varie, en dehors du grand bassin oriental, de quelques centaines de mètres à 1 km, alors que les calculs des géochimistes donneraient 5 à 10 fois cette valeur. Il semble que l'enveloppe basaltique soit très proche, si ce n'est à nu (elle a faussé les tubes des carottiers de PERTERSSON). La sphère péridotique (ultramafique), au lieu de 30 à 40 km, serait à 10 ou 12. GUTENBERG pense que la situation est à peu près la même dans l'Atlantique. D'autre part, les *guyots* (qui portent une couverture néocrétacée ou tertiaire) ont été portés du niveau de la mer à 1.000 ou 2.000 m. Pour ce qui est des zones à compression, on rappelle qu'un *guyot* est entraîné dans la fosse aléoutienne.

(2) *Thèse*, Paris, 1955.

ple est classique pour les transgressions burdigalienne et vindobonienne dans le sillon du Rhône, la déformation et l'invasion peuvent être dissymétriques; elles progressent en général vers le bord externe. Comme l'a montré UMBROVE, l'importance de la sédimentation et, par conséquent, la vitesse de réplé-

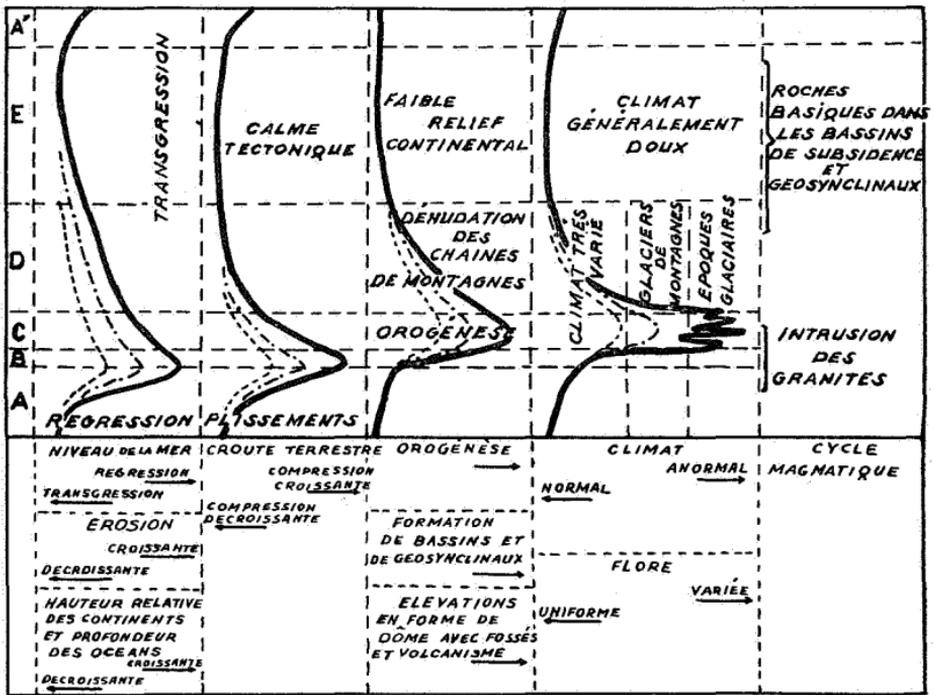


FIG. 4. — D'après Umbrove (The pulse of the Earth).

tion des sillons varient avec le degré de surrection de l'anticlinal qui leur correspond : crête sous-marine, guirlande insulaire, ou chaîne continentale, jusqu'à ce qu'ils viennent à émerger.

L'exemple du contraste tectonique, stratigraphique, volcanique et sismique entre les régions égéenne et tyrrhénienne, d'une part, adriatique, de l'autre (les deux premières caractérisées par une distension, la dernière par une compression continues), nous montre de quelle façon on peut probablement comprendre l'opposition signalée par HAUG entre les mouvements de la mer sur les aires continentales, bordières de grands

océans, et ceux qui se produisent dans les géosynclinaux, c'est-à-dire dans les zones intracontinentales en voie de plissement ⁽¹⁾.

Admettre la simultanéité des transgressions et des régressions générales sur tout le globe, revient donc à admettre celle du rythme des contractions et des distensions de l'écorce, tel que l'illustrent les schémas de SCHUCHERT et d'UMBROVE (fig. 4).

Quant aux *transgressions bordières*, c'est-à-dire aux incursions de la mer dans les vallées des côtes « atlantiques » ou à sa pénétration dans les synclinaux des plis de couverture sur les côtes « pacifiques », elles sont la conséquence de la migration vers l'intérieur de la flexure continentale par suite de l'accentuation de la convexité des boucliers ou des anticlinaux du continent (fig. 1). Elles semblent correspondre à une compression.

RÉGRESSIONS MARINES.

L'étude des régressions peut nous apporter d'autres lumières sur le mécanisme complexe des pulsations du niveau des mers. Il existe, évidemment, aussi des régressions générales, extensives, et des régressions locales. Nous avons aussi à nous demander quelle est la signification de l'expression de HAUG; de « régression dans les géosynclinaux ».

Il est évident qu'il n'y a pas exacte correspondance entre le terme géologique de régression et celui de retrait (momentané) de la mer. Celui qui observe l'évolution d'un littoral et particulièrement celui qui a à lutter pratiquement contre les actions de la mer, gênantes ou désastreuses du point de vue humain, a affaire à des phénomènes indiscutables, mais dont les causes, en général complexes, lui sont le plus souvent inconnues : le recul de la côte (qui, dans le cas d'une côte basse, correspond à un amaigrissement des plages, dans le cas de côtes rocheuses à une démolition des falaises) ou, inversement, l'avancée du littoral, dont un exemple classique (et d'ailleurs contestable) est le recul qui a rendu inutilisable le port d'Aigues-Mortes ou celui qui résulte de la progression des deltas.

Une augmentation de la fréquence et de l'intensité des tempêtes (notamment des « ondes de tempête » ⁽²⁾) comme celles

(1) Le même contraste existe de part et d'autre de la « ligne d'andésite » dans le Pacifique : zone volcanique subsidente, à volcans effusifs et même laviques (de distension) à l'intérieur; zone plissée typique à l'extérieur avec volcans explosifs.

(2) *Storm surges.*

qui ont causé la catastrophe de Hollande), une montée eustatique (de l'ordre du mètre) du niveau de la mer, l'affaissement, soit par tassement des sédiments, soit par subsidence de la marge du continent, peuvent jouer simultanément ou en sens opposé. Le résultat de ces divers mécanismes a été récemment étudié, avec beaucoup de détail, en Hollande.

Inversement, le comblement des baies, des estuaires et des ports est, le plus souvent, dû à l'importance des apports venus du continent : deltas fluviaux subaériens, plaines littorales, deltas sous-marins (deltas sableux de l'Orne, de la Gironde, etc. et surtout cône sous-marin pliocène du Var), glissements, éboulements, coulées de boue alimentant les « plages continentales » formées à leurs dépens. La reprise par les vagues d'anciens sols continentaux submergés, comme ceux qui existent au large de la côte des Landes, ou de dépôts coquilliers anciens, peut avoir presque le même résultat (comblement de la baie du Mont-Saint-Michel). Si le devenir d'une plage dépend de l'importance de ces apports, de l'actif du bilan, il en est de même de l'évolution d'une falaise : sous le seul effet de l'envasement continu de la baie de l'Aiguillon (Vendée), la falaise vive d'Esnandes devient une falaise morte.

Pour le géologue, une régression peut se traduire par deux phénomènes différents : le premier est l'incorporation, momentanée ou définitive, d'un bassin sédimentaire au continent. GIGNOUX a introduit, à ce propos, la notion de « cycle sédimentaire » : l'invasion de la mer dans une dépression synclinale ou dans un creux d'érosion commencerait d'abord par déposer des produits grossiers ⁽¹⁾, suivis de dépôts pélitiques (vases) au fur et à mesure du comblement; ceux-ci passeraient à des sables. L'exemple, toujours cité, est celui du Pliocène méditerranéen avec ses deux facies, plaisancien et astien. Mais l'étude des deux bassins du Var et du Roussillon nous a montré que ce schéma n'est pas exact : l'invasion marine débute par des vases; si, parfois, les facies sableux existent à la base (la Collesur-Loup, la Trinité-Victor dans le bassin du Var, sables « astiens » de l'Agly, en Roussillon), ce sont des sables profonds, en général, dus à des « courants de turbidité ». Quant aux facies

(1) J'ai montré que les « conglomérats de base », toujours polygéniques, ne sont pas des produits de l'abrasion marine au cours d'une transgression progressive, mais d'anciens sols terrestres, vannés, parfois cimentés par des boues marines ultérieures (voir p. 8).

terminaux, le plus souvent, ce ne sont pas des sables, mais des facies de mangrove à récifs d'huîtres ou, dans le Roussillon, des limons ou des calcaires lacustres. Le Quaternaire de Vaugrenier nous a aussi montré l'exemple d'une invasion marine, relativement profonde, dans un bassin lacustre.

Aussi bien en stratigraphie qu'en microstratigraphie, seuls des dépôts pélitiques peuvent se conserver sur place au cours de la progression de la mer. Les dépôts granulaires sont toujours poussés en avant vers le littoral, qu'ils soient des sables ou des galets. Ils ne sont laissés sur place que par les régressions, abandonnés alors sous forme de cordons (ridens) ou, pour les sables, le plus souvent transformés ensuite en dunes (Carteret, en Normandie, dunes cimentées du Quaternaire marocain). Ces dépôts peuvent être progressivement transformés par la pédogénèse et recouverts de limons par les invasions continentales, qui occupent alors surtout les dépressions interdunaires.

Les géologues du Quaternaire — je n'en connais guère d'autres exemples — ont mis en évidence des « plages soulevées », dénomination critiquée, mais qui, à l'examen, me paraît excellente. En effet, les dépôts de bassins ou ceux qui ont été préservés par des couvertures pélitiques continentales ou marines, comme en Hollande, sont superposés suivant la verticale, les plus anciens étant les plus profonds. Au contraire, les plages soulevées, comme la plupart des terrasses fluviales, sont étagées en sens inverse : les plus anciennes sont les plus élevées. Chaque plage, ou terrasse, est le plus souvent séparée de la suivante par un intervalle rocheux, une « falaise », qui implique une érosion, un creusement, c'est-à-dire une reprise de l'action marine ou fluviale, vraisemblablement par suite d'une reprise du soulèvement. Parfois pourtant, il peut y avoir formation d'un glaciais sableux continu, de plus en plus récent comme dépôt au fur et à mesure qu'on descend la pente. Ceci est comparable aux terrasses polygéniques des lobes convexes des méandres encaissés (CHAPUT). Curieusement, les plages soulevées ne rentrent pas dans les baies ou les vallées contemporaines; elles sont situées de part et d'autre des pointes ou des caps, souvent de zones anticlinales. En outre, leur dépôt serait actuellement impossible. Il n'y existe, en effet, en général, aucune plage actuelle, mais des grèves rocheuses ou, en Méditerranée, d'assez grandes profondeurs au droit de ces caps.

Une enquête sur la nature moyenne des dépôts littoraux et néritiques dans toute la série géologique, montre que, suivant

les époques, des dépôts grossiers alternent avec des dépôts pélitiques. Dans ses dernières leçons, EMILE HAUG insistait sur la succession de ces époques *géocratiques*⁽¹⁾, caractérisées par des dépôts grossiers et même par des conglomérats, aussi bien en mer que sur les continents, et des époques *thalassocratiques* où les dépôts sont exclusivement fins, aussi bien en mer que sur le continent. Les périodes géocratiques correspondent à des pentes importantes, donc un relief accusé, sur le continent et, à mon sens, sur le socle continental sous-marin, à des éruptions volcaniques explosives, à une grande diversité de climat. Ce sont les périodes de la formation des chaînes de montagnes dans le sens que tout le monde donne à ce mot. On sait que HAUG attribuait cette formation, non à des mouvements orogéniques, mais épirogéniques.

Inversement, tout relief semble avoir disparu au cours des grandes périodes thalassocratiques, comme le Crétacé supérieur; les dépôts sont toujours fins, le climat uniforme, le volcanisme fissural et effusif.

Le plus bel exemple des conséquences marines d'une sur-rection progressive du continent est, à mon avis, celui des cônes sous-marins de la fin du Pliocène ou du début du Quaternaire dans les golfes thalassocratiques plaisanciens du Var et de La Roya (Vintimille). Alors que le Miocène ne comporte, dans ces régimes, que de rares galets locaux et que ceux-ci sont même inconnus à la base des argiles bleues (vases) plaisanciennes, dès la fin du Pliocène, celles-ci sont ravinées et même plissottées par des coulées de galets, empâtés dans la marne, séparées surtout à la base par des récurrences de marnes bleues ou blanches pélagiques. Tous les galets proviennent de la couverture, et assez rapidement du noyau, du grand massif cristallin de l'Argentera-Mercantour : Oligocène gréseux, flysch, calcaires jurassiques et liasiques, grès du Permien, granites et gneiss. Il semble que la répartition de ces galets suive plus ou moins la loi que BLEICHER a établi pour l'Oligocène d'Alsace : les éléments les plus profonds se sont déposés les derniers par suite du soulèvement et de l'érosion progressifs du massif. Ces galets seront la source de tous les galets quaternaires et actuels.

L'apparition de ces produits grossiers, au cours des intervalles de régression, indiquent : 1^o une vive érosion continen-

(1) Cette dénomination est vraisemblablement empruntée à STILLE.

tales; 2° des pentes continentales et sous-marines se maintenant constamment.

Si l'on caractérise, par conséquent, dans une série sédimentaire, une phase régressive par l'augmentation de calibre du grain du dépôt, cela implique, si elle est générale, le maintien d'un relief continental et, par conséquent, un mouvement de soulèvement de celui-ci. Même dans des dépôts très fins, pélagiques, on peut mettre en évidence des apports continentaux, non seulement par la recherche du sable quartzeux ou du mica, mais aussi par la proportion d'argile qu'ils contiennent par rapport à celle de calcaire, d'origine surtout biologique. L'accentuation des pentes marche de pair avec l'érosion progressive des vallées qui deviendront les cañons, mais, en même temps, avec la pénétration de la mer, non seulement dans leur partie inférieure mais aussi, comme nous l'avons vu, avec l'ingression de celle-ci dans les vallées côtières.

Les synclinaux parallèles à la côte ou les inflexions synclinales des plis de couverture, en Dalmatie par exemple, commencent par s'approfondir, ce qui permet la pénétration de la mer (lac marin de la Krka, synclinal d'Ercegnovi dans les Bouches de Kotor). Puis le mouvement s'accroissant, un des flancs de l'anticlinal comprime le synclinal qui mort, comme dans les expériences de BAILEY WILLIS, est incorporé dans une unique déformation anticlinale (Ile de Pag).

Que peut maintenant signifier régression dans les géosynclinaux? Si ceux-ci sont des sillons intercontinentaux, une tuméfaction générale du continent, contemporaine d'une régression générale, peut conduire à l'accentuation de leur creux, donc à une ingression de la mer, progressive suivant l'axe, parfois sur les bords. Inversement, une détente, causant une transgression sur les aires continentales, coïnciderait avec une diminution de leur profondeur et peut-être une émergence de leur contenu sédimentaire.

Aucune théorie de type eustatique ne permet d'expliquer cette opposition; aucune ne lie non plus la corrélation si souvent constatée : prédominance des sédiments grossiers et régressions marines, sédimentation vaseuse générale et transgressions.

CONCLUSION.

La théorie qui fait dépendre les transgressions de l'abrasion marine est manifestement inadéquate : le plateau continental est une plaine terrestre, plusieurs fois envahie par la mer et très incomplètement débarrassée de sa couverture de sédiments meubles datant des périodes de régression. Les traces des anciennes rivières, vraisemblablement médioquaternaires, y sont toujours visibles. Sans mouvements crustaux, le recul des falaises est insignifiant.

La théorie glacio-eustatique fournit aussi une explication insuffisante, et surtout insuffisamment générale. Les oscillations du niveau marin qu'elle envisage, ne se sont produites avec quelque ampleur qu'au cours du Quaternaire. Par surcroît, son application aux plages méditerranéennes d'altitudes décroissantes, admises par DEPERET et ses continuateurs, conduit logiquement à supposer que la couverture glaciaire qui subsistait aux diverses époques chaudes, a augmenté du Sicilien au Flandrien, ce qui est loin d'être démontré.

L'ampleur des oscillations de cette origine est encore aujourd'hui difficile à chiffrer dans l'ignorance du volume des glaces surtout antarctiques. Mais les mesures les plus récentes dues aux marégraphes semblent montrer qu'elle ne dépasse pas celle des mouvements crustaux, même dans des régions réputées « stables » comme l'Amérique du Nord. D'autres théories peuvent faire appel à des déplacements des pôles ou à des variations dans la répartition des masses dans l'intérieur de la Terre. Elles ne semblent pas rendre compte des multiples faits mis en évidence par la géologie terrestre et sous-marine.

La théorie à laquelle je me suis rallié en 1947 ⁽¹⁾, très voisine de celle que vient d'émettre ⁽²⁾ K. K. LANDES, me paraît, provisoirement, rendre compte de tous les faits : l'accentuation des voûtes continentales conduit à une *extension* du fond des océans et à une augmentation de leur volume, donc à une régression sur les aires continentales (2 : fig 3); à l'exception des cas où la flexure rentrant dans le continent, il y a *ingression* dans les dépressions.

(1) Géographie du fond des mers, Payot, Paris.

(2) Our shrinking globe. (*Am. Geol. Soc. Bull.*, 63, pp. 225-240 35 1073-1074, 1952.)

Inversement, une détente continentale avec diminution des pentes du socle conduit à une diminution du volume océanique (diminution de largeur et de profondeur), donc à une transgression sur les marges.

Dans les géosynclinaux, l'accentuation de la forme en creux conduirait, aux époques de contraction, à une progression suivant l'axe et sur les bords par augmentation de leur profondeur (ou diminution d'altitude). Les périodes de détente permettraient au fond d'émerger.

Il faut, enfin, admettre, pour expliquer la généralité de ces mouvements de la mer, que les déformations de la surface du globe sont simultanées, ce qu'avait pensé STILLE, sur la Terre entière.

A la fin de cet exposé, je voudrais encore insister sur le fait qu'il est de plus en plus nécessaire de ne pas limiter les recherches géologiques à cette ligne fugace qu'est le littoral. Les deux tiers submergés de la Terre étaient hier encore inconnus. Depuis quelque temps, nous y avons récolté quelques faits : grâce aux levés continus, aux dragages des parois des cañons, à l'étude des longues carottes et parfois même par vision directe : en scaphandre autonome, dans les tourelles Galeazzi ou dans le bathyscape. Mais le travail à la mer est onéreux et lent. Il nécessite aussi la formation d'équipes entraînées, particulièrement difficiles à recruter. La Belgique s'est associée à la France pour permettre de réaliser le FNRS 3, le premier esquif qui ait pu pénétrer dans les fonds de 4.000 mètres. Leur collaboration en cette matière se poursuit. Peut-on espérer que cette association existera aussi dans les recherches qui partent de la surface de la mer.

CONCLUSION.

La théorie qui fait dépendre les transgressions de l'abrasion marine est manifestement inadéquate : le plateau continental est une plaine terrestre, plusieurs fois envahie par la mer et très incomplètement débarrassée de sa couverture de sédiments meubles datant des périodes de régression. Les traces des anciennes rivières, vraisemblablement médioquaternaires, y sont toujours visibles. Sans mouvements crustaux, le recul des falaises est insignifiant.

La théorie glacio-eustatique fournit aussi une explication insuffisante, et surtout insuffisamment générale. Les oscillations du niveau marin qu'elle envisage, ne se sont produites avec quelque ampleur qu'au cours du Quaternaire. Par surcroît, son application aux plages méditerranéennes d'altitudes décroissantes, admises par DEPERET et ses continuateurs, conduit logiquement à supposer que la couverture glaciaire qui subsistait aux diverses époques chaudes, a augmenté du Sicilien au Flandrien, ce qui est loin d'être démontré.

L'ampleur des oscillations de cette origine est encore aujourd'hui difficile à chiffrer dans l'ignorance du volume des glaces surtout antarctiques. Mais les mesures les plus récentes dues aux marégraphes semblent montrer qu'elle ne dépasse pas celle des mouvements crustaux, même dans des régions réputées « stables » comme l'Amérique du Nord. D'autres théories peuvent faire appel à des déplacements des pôles ou à des variations dans la répartition des masses dans l'intérieur de la Terre. Elles ne semblent pas rendre compte des multiples faits mis en évidence par la géologie terrestre et sous-marine.

La théorie à laquelle je me suis rallié en 1947 ⁽¹⁾, très voisine de celle que vient d'émettre ⁽²⁾ K. K. LANDES, me paraît, provisoirement, rendre compte de tous les faits : l'accentuation des voûtes continentales conduit à une *extension* du fond des océans et à une augmentation de leur volume, donc à une régression sur les aires continentales (2 : fig 3); à l'exception des cas où la flexure rentrant dans le continent, il y a ingression dans les dépressions.

(1) Géographie du fond des mers, Payot, Paris.

(2) Our shrinking globe. (*Am. Geol. Soc. Bull.*, 63, pp. 225-240 35 1073-1074, 1952.)

Inversement, une détente continentale avec diminution des pentes du socle conduit à une diminution du volume océanique (diminution de largeur et de profondeur), donc à une transgression sur les marges.

Dans les géosynclinaux, l'accentuation de la forme en creux conduirait, aux époques de contraction, à une progression suivant l'axe et sur les bords par augmentation de leur profondeur (ou diminution d'altitude). Les périodes de détente permettraient au fond d'émerger.

Il faut, enfin, admettre, pour expliquer la généralité de ces mouvements de la mer, que les déformations de la surface du globe sont simultanées, ce qu'avait pensé STILLE, sur la Terre entière.

A la fin de cet exposé, je voudrais encore insister sur le fait qu'il est de plus en plus nécessaire de ne pas limiter les recherches géologiques à cette ligne fugace qu'est le littoral. Les deux tiers submergés de la Terre étaient hier encore inconnus. Depuis quelque temps, nous y avons récolté quelques faits : grâce aux levés continus, aux dragages des parois des cañons, à l'étude des longues carottes et parfois même par vision directe : en scaphandre autonome, dans les tourelles Galeazzi ou dans le bathyscape. Mais le travail à la mer est onéreux et lent. Il nécessite aussi la formation d'équipes entraînées, particulièrement difficiles à recruter. La Belgique s'est associée à la France pour permettre de réaliser le FNRS 3, le premier esquif qui ait pu pénétrer dans les fonds de 4.000 mètres. Leur collaboration en cette matière se poursuit. Peut-on espérer que cette association existera aussi dans les recherches qui partent de la surface de la mer.
