

La géologie marine

M. Debyser*

La plupart des géologues, géophysiciens, géochimistes ont été les acteurs directs ou les témoins attentifs, durant ces vingt dernières années, d'un changement d'une telle importance qu'il n'est probablement pas exagéré de parler d'une véritable mutation de la pensée scientifique dans le domaine des sciences de la terre. Les outils et les moyens matériels ne sont pas les seuls à avoir été modifiés, mais aussi les concepts et les méthodes par lesquels on tente de résoudre les problèmes.

Ce qui est important, et mérite d'être souligné, c'est que cet élan nouveau donné aux sciences de la terre est en grande partie lié aux progrès rapides et aux découvertes récentes réalisés dans le domaine de la géologie et de la géophysique marine.

Pour percevoir ce changement reportons-nous d'abord à la période comprise approximativement entre 1910 et 1925. A cette époque, Wegener publie les quatre éditions successives de « La genèse des continents et des océans ». Dans ce célèbre ouvrage, il développe l'hypothèse de la dérive des continents, hypothèse qui s'impose à lui et à d'autres géologues contemporains pour deux raisons : d'une part l'étrange similitude entre le découpage des côtes de l'Afrique et de l'Amérique du Sud, d'autre part le nombre toujours croissant d'observations tant géologiques que paléoclimatiques et paléontologiques qui impliquent une continuité entre ces deux continents. La similitude des faunes et des flores à certaines époques, le synchronisme de certains phénomènes géologiques et climatiques est tel qu'on ne peut imaginer l'histoire de ces deux continents que dans une étroite dépendance. Pourtant aussi prestigieuse et aussi séduisante qu'elle ait été, à cette époque - rappelons qu'on l'enseignait dans nos lycées - cette théorie malgré quelques tentatives de vérification par mesure directe, apparaissait comme incontrôlable. Sans s'en désintéresser, les géologues et les géo-physiciens la rangèrent dans le tiroir des hypothèses invérifiables. La mer était, si l'on ose s'exprimer ainsi, « terra incognita », grande tâche blanche sur les cartes géologiques.

D'une façon plus générale pour l'ensemble du globe, on commençait à avoir des connaissances sérieuses sur l'ensemble des terres émergées, c'est-à-dire sur 1/3 de sa surface; on était par contre dans l'ignorance presque totale sur l'âge et la nature des formations qui forment le plancher des océans.

La nouveauté, durant ces vingt dernières années, est précisément que les recherches

géologiques réalisées dans les océans ont permis de combler ces lacunes de connaissance, de supprimer en grande partie les vides que constituaient les océans dans la carte géologique mondiale. En quelques années le bien fondé de l'hypothèse des dérives continentales, différente en vérité dans sa formulation de celle imaginée par Wegener, s'est trouvée confirmée et d'un seul coup l'image organisée de la surface de la planète est apparue. Celle-ci, baptisée théorie de l'expansion des fonds océaniques, permet de proposer un schéma global de la tectonique terrestre. Ce schéma est global parce qu'il est valable pour l'ensemble de la terre; il l'est aussi parce qu'il permet d'englober, d'expliquer des phénomènes aussi différents que la distribution des tremblements de terre, la répartition des volcans, la formation des chaînes de montagne, de comprendre la distribution des roches sédimentaires, cristallines et volcaniques qui constituent l'écorce terrestre, ainsi que de rendre compte de certaines migrations des flores et des faunes.

Cette disparition des cloisonnements entre les différentes disciplines, et en particulier entre la géologie, science descriptive et naturelle, et la géophysique, n'est pas spécifique aux sciences de la terre. Les historiens des sciences décrivent des phénomènes identiques dans d'autres domaines, en particulier en biologie.

Chronologie pour 150 millions d'années

Ce qui est à noter, c'est que dans le domaine des sciences de la terre, cette fusion, cet éclairage mutuel des découvertes dans chaque discipline particulière par les découvertes faites dans les autres, ne se sont réellement réalisés que durant ces dix dernières années. L'exemple qui peut-être le plus significatif à cet égard a trait à la chronologie des phénomènes géologiques dans les océans. Aujourd'hui, on peut, en combinant la succession des inversions du champ magnétique terrestre (géophysique), les âges isotopiques (géochimie) et l'évolution des espèces microplanctoniques (biostratigraphie) établir une chronologie des événements, d'une précision inégalée, pour les cent-cinquante derniers millions d'années de l'histoire de notre globe.

L'intégration des différentes disciplines qui permettent de constituer la chronologie des océans, conduit, en corrélation avec celles déjà mieux connues des continents, à une situation nouvelle qui se marque essentiellement par les faits suivants : autrefois les théories d'ensemble

sur l'histoire du globe relevaient plus de la cosmogonie que de la science. C'était des exercices de style parfois prestigieux mais invérifiables parce qu'on ne pouvait les confronter à la matérialité des faits. Maintenant, cela est envisageable.

Par ailleurs, le schéma de tectonique globale donne une base concrète à ce qui était pressenti depuis longtemps, à savoir qu'un certain nombre de règles générales sont applicables à l'étude géologique de n'importe quelle région du globe. Ces règles commencent à être connues et constituent une trame à l'intérieur desquelles on peut hiérarchiser l'infinie variété des observations régionales ou locales et interpréter l'évolution de ces régions.

Enfin, comme on le verra plus loin, la méthode et la stratégie de la recherche elle-même s'en trouvent considérablement modifiées. Ce par quoi Bachelard définissait le nouvel esprit scientifique se réalise en géologie : « le temps des hypothèses décousues et mobiles est passé comme est passé le temps des hypothèses isolées et curieuses. Désormais, l'hypothèse est synthèse ».

Pour bien saisir la portée de cette mutation des sciences de la terre, il est nécessaire de se reporter à la situation des connaissances il y a une trentaine d'années. Tout a commencé avant la dernière guerre mondiale par le développement du sondage acoustique qui a permis de faire un relevé de la bathymétrie et de la morphologie des océans. Après la guerre, le développement de ces techniques connues sous le nom de sismique réflexion ont permis de compléter ces images en donnant des indications sur l'épaisseur des formations sédimentaires qui tapissent le fond des océans et sur la profondeur du plancher océanique. En deux décennies le schéma général de la morphologie des océans, de la distribution des formations sédimentaires, épaisseurs et déformations comprises, a été mis en place. Après une étape qu'on pourrait qualifier de purement descriptive, un pas décisif a été franchi vers les années 60 par la mise en évidence et l'étude dans le fond des océans des anomalies magnétiques liées aux inversions du champ terrestre. L'examen de leur distribution dans certaines zones du Pacifique, de part et d'autre de lignes de fractures, a permis de formuler l'hypothèse que le long de ces accidents s'étaient produits des mouvements horizontaux de plusieurs centaines de kilo-

* Bureau de Recherches Géologiques et Minières (B.R.G.M.)

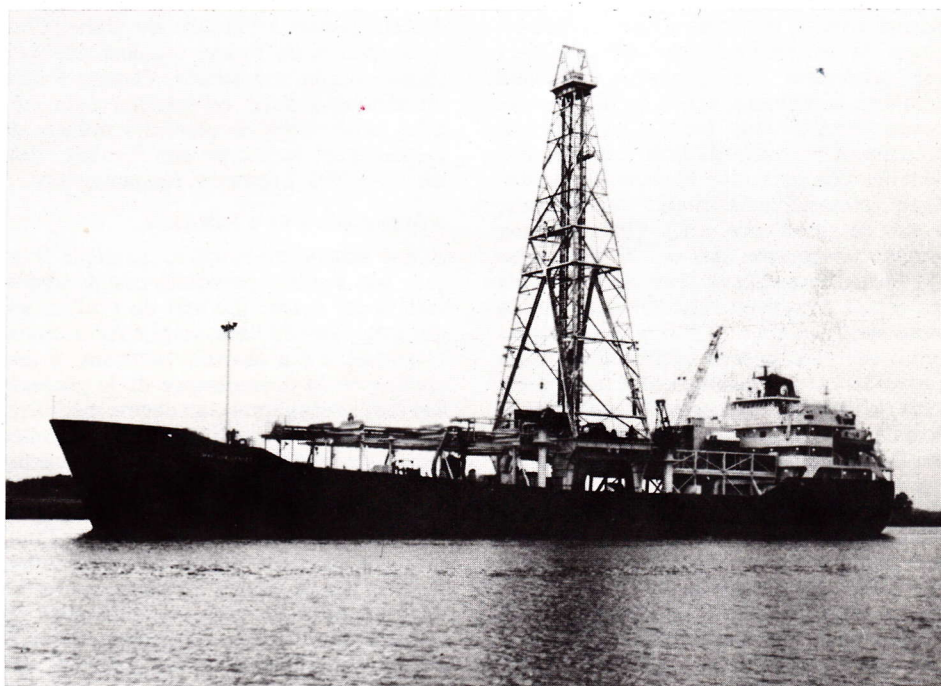
mètres. On a réalisé ensuite que, dans tous les océans du monde, ces anomalies, identifiables par leur signature particulière, étaient alignées parallèlement aux chaînes midocéaniques.

C'est partant de là qu'a été formulée la théorie de l'expansion et de la tectonique des plaques : le plancher océanique se forme dans le fossé d'effondrement qui suit l'axe de ces chaînes et se répand de façon symétrique de part et d'autre de cet axe, chacune des anomalies constituant en quelque sorte le témoin d'un certain stade de l'expansion. Cette expansion du fond océanique entraîne dans certains cas les continents avec elle comme dans le cas de l'Atlantique. Ailleurs, plancher océanique et continent s'affrontent comme dans le cas du Pacifique. Dans ce cas, à la limite continent-océan, se créent des zones de compression, des zones de fractures, des zones de volcanisme, des zones de formation de chaînes de montagnes, des zones de tremblements de terre.

450 forages

L'étape la plus récente a débuté en 1968 lorsque la National Science Foundation a lancé une campagne de forage océanique intitulée "Deep sea drilling project". En cinq années, 450 forages ont été réalisés, aussi bien dans le Pacifique, l'Atlantique, l'Océan Indien, que dans les mers marginales. Certains de ces forages ont pénétré de plus de 1 000 mètres sous le fond de l'océan. Parmi les innombrables découvertes qui ont pu être faites au cours des campagnes du "Glomar Challenger", le résultat le plus important a été que l'âge des sédiments, au contact avec la croûte océanique, augmente de part et d'autre de la ride mid-océanique d'une façon conforme avec ce que la théorie de l'expansion avait prévu. Il est maintenant possible en combinant les données du magnétisme et de la stratigraphie de reconstituer depuis environ 200 millions d'années quelles ont été les positions respectives des continents les uns par rapport aux autres. On peut en particulier reconnaître les étapes de la formation de l'Atlantique avec toutes les implications que cela impose sur le plan de la sédimentation, de la climatologie et de son environnement en général.

Une cinématique de l'écorce terrestre s'est ainsi constituée qui fait apparaître les relations entre les variations de vitesse d'expansion, les phases paroxysmales de formation de chaînes de montagnes et bien d'autres phénomènes géologiques. Ces connaissances des états successifs de



*Une campagne de forages océaniques :
des forages à plus de 1000 mètres
sous l'océan.*

l'écorce ouvrent maintenant la porte sur le problème de plus difficile et le plus important qui est la géodynamique de l'écorce terrestre. Disposant enfin de données chiffrées, tant sur les mouvements horizontaux (dérive) que sur les mouvements verticaux (subsidence), il est possible de constituer des modèles de l'écorce terrestre dans lesquels sont intégrées, aussi bien les données superficielles que les observations géophysiques profondes de gravimétrie, de réfraction, et enfin d'aborder le problème plus fondamental qu'est la caractérisation des forces qui entrent en jeu dans l'évolution de l'écorce terrestre. Ceci est l'orientation des recherches actuelles, dont le but est d'établir une théorie cohérente entre les caractéristiques physiques du manteau et les mouvements horizontaux et verticaux observés à la surface de l'écorce terrestre.

Il n'était pas possible dans ce cadre d'aller plus loin dans la description de cet enchaînement de découvertes. Nous retiendrons simplement le fait important suivant, à savoir, que les zones actives de l'écorce terrestre sont situées dans la plupart des cas sous le fond des océans, soit au milieu, là où se forme le plancher océanique dans le fossé d'effondrement de la chaîne médiane, soit à proximité de la limite continent-océan où ce plancher en expansion affronte ces masses continentales.

On comprend maintenant pourquoi, malgré tous leurs efforts, les géologues terrestres ne pouvaient formuler que des hypothèses sur la formation des chaînes de montagne : les endroits où les phénomènes se produisent, les zones où l'écorce terrestre est active et où l'on peut suivre presque quotidiennement les déformations sont situés sous la mer. C'est pourquoi tant que l'océan restait inaccessible et que l'on n'avait pas accès aux régions à partir desquelles se propagent et se distribuent les principaux mouvements horizontaux et verticaux qui affectent l'écorce terrestre, on ne pouvait les comprendre.

Une théorie d'ensemble pour la géologie

Pour le technicien, les progrès qui ont été réalisés se manifestent quotidiennement et concrètement dans le renouvellement des outils conceptuels dont il dispose, dans les modifications de la méthode et dans les tensions qui règnent actuellement dans la profession.

Le fait de disposer d'une théorie globale qui permet d'établir des ponts entre des disciplines autrefois relativement auto-

nomes comme la vulcanologie, la séismologie, la tectonique et la sédimentation est générateur de nouveaux concepts (plaques océaniques, zones de subduction, zones d'expansion, etc.). Ces concepts transforment complètement ou enrichissent les concepts plus anciens de la géologie (géosynclinaux, marge continentale, zones de subsidence, etc.). Ces nouveaux outils conceptuels, qui ne résultent plus du formalisme classificateur indispensable au départ dans toutes sciences descriptives mais sont déduits à l'analyse des relations entre des phénomènes différents, sont des instruments de raisonnement autrement plus riches et plus efficaces. On assiste par ailleurs à un changement dans les méthodes. Le fait de disposer d'une théorie d'ensemble implique non seulement une polydisciplinarité réelle qui se manifeste au cours du développement de la recherche par une comparaison et une itération à tout moment entre les différentes disciplines mises en œuvre, mais aussi par une plus grande facilité pour le géologue à poser, pour chaque région particulière qu'il étudie, des questions fondamentales. Dans l'étude d'une région du globe, le géologue ou le géophysicien se préoccupait essentiellement d'aller voir un peu comme l'explorateur qui, à la Renaissance, partait à la découverte de terres nouvelles. Maintenant, il dispose d'une trame théorique qui l'autorise à anticiper dans une certaine mesure les questions clés que telle ou telle région du globe permet de résoudre. Ceci se manifeste par une plus grande aptitude à hiérarchiser les problèmes. Cette possibilité ouvre la porte à l'emploi, en recherche fondamentale, de moyens lourds et onéreux permettant la résolution de questions spécifiques. Ainsi, on conçoit fort bien de nos jours de financer un nouveau programme international purement scientifique de forages océaniques profonds, tel que celui d'IPOD, parce qu'on sait maintenant que, si l'on s'entoure d'un certain nombre de précautions au niveau des études préliminaires pour l'implantation de ces forages et qu'on affecte à cet objectif des géologues et des géophysiciens compétents, la réponse à la question posée a de bonnes chances d'être obtenue et que si le problème est bien défini, sa résolution permet de faire des découvertes dépassant largement le cadre régional. Actuellement les scientifiques qui participent à ce programme international plus ambitieux que le précédent sont confrontés à une responsabilité sans précédent; maîtres de placer leurs forages pratiquement où ils le veulent, les techniciens, les sédimentologistes et les spécialistes de la croûte océanique

doivent penser à l'échelle du globe. Cha-implantation de forage requiert une précision presque industrielle. Chaque forage ou chaque groupe de forages, dont certains pénétreront de plusieurs milliers de mètres dans la marge continentale, doit résoudre des questions fondamentales.

« Archimède » et « Famous »

A une échelle moindre, un exemple français me semble particulièrement significatif à cet égard; il s'agit de l'utilisation qui a été faite du bathyscaphe ARCHIMÈDE. Construit il y a environ vingt ans, à une époque où la connaissance de la géologie des fonds océaniques était encore médiocre, sa rentabilité scientifique s'est révélée extrêmement faible. En fait, les scientifiques ne disposaient pas à l'époque du schéma théorique leur permettant de décider où il fallait plonger. Aujourd'hui, pour ne prendre qu'un cas particulier, sachant que la croûte océanique se forme dans un fossé de quelques kilomètres de large, situé au milieu des océans, l'observation de ce secteur à grande échelle, qui correspond au rayon d'action de l'ARCHIMÈDE sur le fond, est parfaitement légitime. Le programme franco-américain FAMOUS de plongée profonde a permis d'apporter des informations précises sur les mécanismes qui se produisent dans cette région du globe privilégiée, informations qui auraient été inaccessibles autrement. En pratique, on braque sur le fond des océans un appareil à haute résolution très performant et très onéreux comme on braque sur un point particulier de l'espace un grand radiotélescope à l'écoute d'une étoile.

Un tel changement ne va pas sans crise et sans tension. Récemment, encore en géologie, la découverte résultait essentiellement d'un travail acharné et méticuleux. Pour le non initié, la géologie donnait souvent l'impression d'une science diffuse aux objectifs mal définis. Cette image lui nuisait, car dans la compétition pour l'obtention des crédits de recherche, les projets proposés par les géologues paraissaient souvent très modestes et manquaient de netteté par rapport à ceux présentés par les scientifiques qui travaillaient dans d'autres domaines. Actuellement, on assiste à une tendance inverse parfois excessive, celle qui vise à résoudre les problèmes les plus fondamentaux en mettant en œuvre les moyens les plus onéreux de la technique moderne. Entre les disciplines, parce que même si toutes sont affectées par cette évolution, il n'y a aucune simultanéité dans le développe-

ment des différentes branches et certains domaines très descriptifs de la paléontologie, par exemple, sont souvent défavorisés par rapport à une approche qui paraît et qui est plus moderne et plus fondamentale. Entre les générations, parce que certains maîtres qui faisaient de la géologie, tout simplement pour faire l'inventaire naturaliste du monde, se trouvent confrontés à une nouvelle vague de jeunes géophysiciens et géochimistes ardents dont la démarche intellectuelle correspond plus à ce qu'on considère être les normes de la recherche scientifique actuelle. En fait, les problèmes sont très souvent mal posés : parce que, pour ne reprendre qu'un cas que nous avons cité, la chronologie détaillée de la formation des océans s'obtient par la mise en œuvre conjointe des techniques descriptives les plus minutieuses de la micropaléontologie (coccolites, radiolaires, diatomées, etc.) et des connaissances plus récentes en géophysique et en géochimie isotopique. Les disciplines purement descriptives et les sciences physiques participent à la même entreprise.

Si j'ai insisté sur certaines des difficultés rencontrées dans les sciences de la terre, c'est parce qu'elles constituent, à mes yeux, autant que les découvertes récentes, un témoignage objectif d'une science en voie d'évolution rapide. Je crois légitime de considérer que l'étude des océans qui a permis de formuler, puis de vérifier, la théorie de l'expansion a fait apparaître des concepts et des objets nouveaux (expansion des zones de subduction, plaques, etc...), le besoin de techniques d'observations nouvelles (forages océaniques par exemple), une autre mentalité dans la détection des phénomènes et la résolution des problèmes, un autre quadrillage perceptif dans la détermination des associations pertinentes (sur le plan stratigraphique, géochimique et géologique par exemple) enfin un jeu des concepts totalement inédits. L'ensemble de ces nouveautés que nous venons d'énumérer en paraphasant un texte de M. Foucault représente plus qu'un simple progrès dans le savoir. Il s'agit de la mutation d'une science qui de purement descriptive qu'elle était a acquis sa trame théorique. On peut exprimer ceci plus simplement en reprenant notre comparaison avec le puzzle que constitue l'écorce terrestre. Maintenant que son sens général est compris, les enfants que nous sommes vont beaucoup plus vite pour combler les trous et placer les pièces manquantes.

M.D.