

CHAPITRE XVI

FORMATION DU SOL PAR LES AGENTS ANIMAUX. —
L'ŒUVRE DES FORAMINIFÈRES.

Le travail des polypes de corail constructeurs de récifs, tel que nous l'avons décrit dans le dernier chapitre, s'exécute sur une échelle gigantesque. La Grande Barrière de l'Australie recouvre à elle seule, d'un dépôt calcaire coralligène, une superficie supérieure à celle de l'Écosse¹, et la surface totale sur laquelle ces récifs sont semés dans l'Océan Pacifique dépasse la superficie de l'Asie. Ces récifs et ces atolls frappent les yeux et s'imposent à l'attention du voyageur par leur beauté et leur singularité, comme ils éveillent celle du navigateur par le danger qu'ils lui font courir. Mais il existe d'autres agents qui travaillent à convertir en roche solide les matières contenues dans l'océan, et cette conversion ne cesse de s'accomplir sur une échelle encore plus vaste et avec une rapidité probablement égale; les agents dont elle est l'œuvre ne sont nullement en évidence, ils échappent même, en grande partie, au regard, non seulement par leur petitesse, mais parce que les produits

1. La superficie de la Grande Barrière est évaluée à 85 000 kilomètres carrés; celle de l'Écosse à 82 000 kilomètres carrés.

de leur travail s'amoncellent, non dans des eaux peu profondes, mais loin de nos yeux dans les profondeurs de l'océan; ils auraient pu même échapper à notre connaissance comme à nos regards, si diverses circonstances n'avaient, dans ces dernières années, provoqué l'exploration attentive des profondeurs de la mer.

C'est dans ces quarante dernières années que nous avons appris presque tout ce que nous connaissons aujourd'hui du lit des eaux profondes et de leurs habitants. Quand on eut proposé pour la première fois de mettre l'ancien monde en relation avec le nouveau, au moyen d'un câble télégraphique, il devint nécessaire de sonder avec soin le lit sur lequel le câble devait reposer. C'est en 1853, pour la première fois, que le fond de l'Atlantique septentrional fut exploré en détail par le lieutenant Berrymann, de la marine des États-Unis; en 1857, il fut exploré d'un bout à l'autre, entre l'Irlande et Terre-Neuve, par le capitaine Dayman, à bord du navire anglais le *Cyclops*. Dans ces explorations, on réussit à se procurer de nombreux échantillons du sol constituant le fond de l'océan; ceux que rapporta l'expédition américaine furent soumis à Ehrenberg et à Bailey, je fus chargé d'examiner ceux que recueillit l'expédition anglaise. Depuis lors, l'enquête sur la nature du fond de la mer, poursuivie activement dans diverses parties du globe, et l'ensemble précieux des observations recueillies durant l'expédition du *Challenger*, nous ont donné ample information sur la constitution du lit des océans en des régions très diverses.

Dans le système ordinaire de sondage, c'est-à-dire dans l'appareil employé pour reconnaître la profondeur de la mer, on se sert d'une masse de plomb attachée à l'extrémité d'une ligne graduée qui se déroule rapidement

jusqu'à ce que le plomb vienne frapper le fond. Pour obtenir un échantillon de la nature de ce fond, on arme le plomb, c'est-à-dire que l'extrémité inférieure de la masse du métal à forme légèrement concave est enduite de suif; une petite quantité de la vase ou des autres matières constituant le lit se fixe à cette graisse et peut, de la sorte, être amenée à la surface et soumise à l'examen. Cet appareil rudimentaire suffit quand il s'agit d'un sondage dans des eaux peu profondes, mais les sondages en pleine mer exigent des instruments compliqués. La plupart de ces instruments sont construits d'après le principe imaginé par le lieutenant Brooke, de la marine des États-Unis, et qui consiste à faire se détacher de lui-même le poids, au contact du fond. La ligne de sonde descend ainsi avec le poids, mais remonte seulement avec l'échantillon du fond recueilli sur le lit de la mer dans un godet, un tube ou une petite pelle.

Sans parler des différentes formes d'appareils de sondage dont se sont servies les expéditions successives¹, il suffira de décrire celui dont on a fait un usage fréquent dans la célèbre croisière du *Challenger*. Cet appareil est représenté dans la figure en perspective et en coupe. C'est une modification de celui dont se servit le capitaine Shortland à bord de l'*Hydra*; mais sa forme présente est due au lieutenant Baillie.

Cet appareil consiste en un tube de métal, *a*, en fer, de 1^m,60 de longueur et de six centimètres de diamètre. Son extrémité supérieure est garnie d'un cylindre de cuivre, *b*, dans lequel se meut de haut en bas et de bas en haut une pièce de fer pesante, à la façon d'un piston dans un cylindre. En *c*, cette pièce de fer est munie d'un épaulement qui porte l'élingue en fil de fer à laquelle sont

1. On trouvera les descriptions et les figures de ces instruments dans l'ouvrage *The Depths of the Sea*, par C. Wyville Thomson, 1873.

attachés les poids qui font descendre l'appareil. Ces poids, *d*, sont en fer, de forme cylindrique, et chacun est percé d'un trou à son centre; ils sont munis de dents et d'entailles, de manière à pénétrer l'un dans l'autre; de la sorte, plusieurs de ces poids peuvent, en se juxtaposant, former une masse compacte que traverse en son centre un conduit par lequel passe le tube. Quand l'instrument descend, l'eau pénètre dans le tube *a*, par son extrémité ouverte *e*, et sort par les trous

pratiques dans la partie supérieure. Au contact du fond, le tube s'enfonce dans la vase ou dans toute autre matière et un peu de cette vase y pénètre; pour l'empêcher d'en sortir, une paire de valves s'ouvrant en dedans est attachée à l'extrémité *e*. En atteignant le fond de la mer, le cylindre en cuivre *b* est repoussé par le choc vers le haut et venant frapper l'épaulement *c* du piston en fer, il détache l'élingue et abandonne ainsi le poids. Quand donc on retire la corde à laquelle est attaché l'instrument et qu'elle revient à la surface, elle ne tire plus que

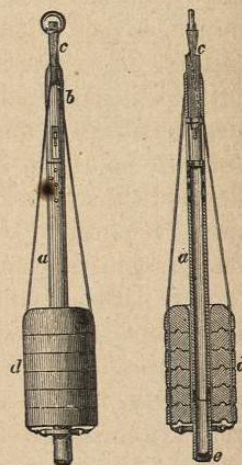


FIG. 81. — Appareil de sondage pour grandes profondeurs employé à bord du *Challenger*.

le tube rempli de la matière qui forme le fond de la mer. C'est au moyen d'instruments de ce genre qu'on a sondé les mers profondes et ramené à la surface, pour les soumettre ensuite à un examen scientifique, des échantillons du fond.

Les sondages soigneusement exécutés dans ces explorations ont révélé la configuration remarquable du lit de l'Atlantique. Cette configuration est représentée dans la figure 82 qui montre le nivellement général du fond

de la mer entre l'île Valentia (Irlande) et Saint-John

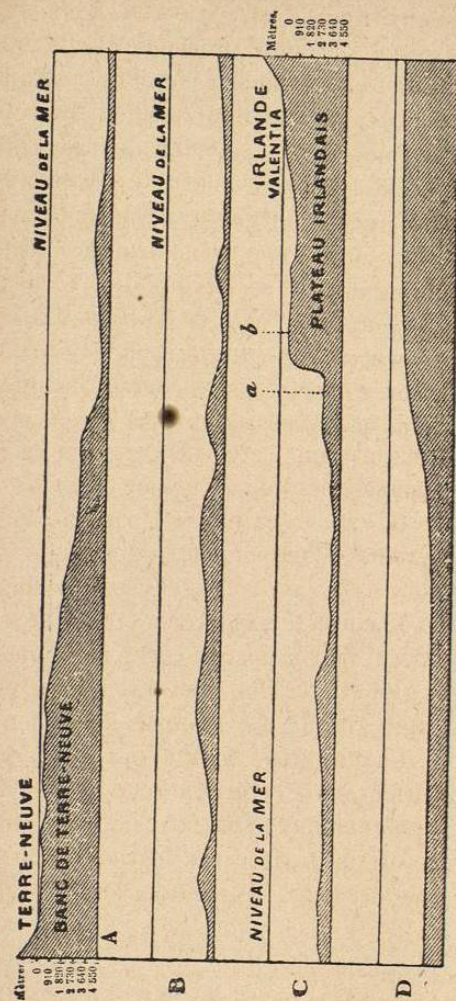


FIG. 82. — A, B, C. Coupe du lit de l'Atlantique entre Terre-Neuve et l'Islande, d'après les sondages du capitaine Dayman. L'échelle verticale est exagérée, par rapport à l'échelle horizontale, dans la proportion de 15 à 1. D. Coupe de la pente comprise entre *a* et *b*, dans la figure C, représentée à l'échelle naturelle.

(Terre-Neuve). On peut voir qu'il y a une pente graduelle à partir de la côte d'Irlande, pendant 300 kilomètres

environ; puis une dépression plus rapide¹ conduit à une vaste plaine ondulée qui coupe l'Atlantique jusqu'à 500 kilomètres environ de Terre-Neuve et, de là, s'élève graduellement jusqu'à la côte d'Amérique. Cette grande plaine sous-marine, qu'on a appelée le « Plateau du Télégraphe », a une largeur de plus de 1600 kilomètres et une profondeur moyenne de plus de 1800 mètres. Elle est recouverte presque uniformément d'un vaste dépôt d'une vase fine crémeuse ou grisâtre. Quand cette vase est desséchée, elle forme, en durcissant, une substance grise et friable dont on peut se servir pour écrire sur un tableau noir, comme on se sert de la craie. En outre, quand on verse un acide sur cette vase, elle se dissout, en majeure partie, avec effervescence, comme fait un morceau de craie dans les mêmes conditions : on peut ainsi promptement s'assurer que cette vase, comme la craie, se compose principalement de carbonate de chaux.

Cependant cette vase calcaire n'est pas une matière purement minérale; quand on en soumet une petite quantité au microscope, on voit qu'elle est formée en majeure partie de corps tels que ceux représentés dans la figure 83, en A. Chacun de ces corps se compose de plusieurs loges globulaires dont une est la plus petite, une autre la plus grande, et le reste de dimensions intermédiaires. Chaque loge a une ouverture sur le côté qui est tourné vers le centre; à l'état de vie, toutes les cellules sont remplies d'une substance protoplasmique qui recouvre la surface des loges et projette en forme de rayons de longs fils contractiles. Les parois

1. Dans la figure, cette dépression ressemble à la pente d'une colline abrupte. Mais c'est là une représentation erronée qui résulte de l'exagération de la hauteur verticale. A l'échelle véritable, en D, fig. 82, on voit que l'inclinaison de la pente n'est pas supérieure à celle d'une colline d'une déclivité modérée. A ne tenir compte que des rampes, on pourrait sans aucune difficulté aller en chemin de fer d'Irlande à Terre-Neuve en suivant le fond de la mer.

des loges sont dures et cassantes, par suite de la grande quantité de carbonate de chaux qu'elles contiennent; dans les loges les plus petites, elles sont très minces et tout à fait transparentes. Dans les plus grandes, elles s'épaississent et la partie extérieure de leur substance acquiert une structure prismatique. Dans les échantillons enlevés avec grand soin au fond de la mer, les surfaces extérieures des loges sont hérissées d'appendices longs

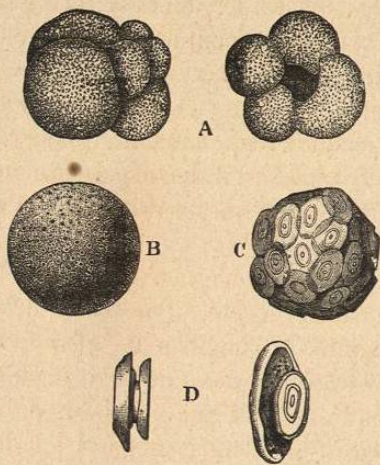


FIG. 83. — A, *Globigerina bulloides* d'Orb.; B, *Orbulina universa*, d'Orb.; C, Coccosphère; D, Cocolithe, de profil et de trois quarts.

et tenus comme des fils de verre, et comme eux très fragiles.

Les corps que nous venons de décrire sont ceux d'animaux d'une nature très simple, connus sous le nom de *globigerina bulloides*, et appartenant au groupe qu'on désigne sous le nom de *foraminifères*¹, d'après les nombreux pertuis que l'on peut voir d'ordinaire dans

1. Foraminifères, du lat. *foramen*, pertuis, et *fero*, porter.

leurs parties dures. On s'est longtemps demandé si les *globigerinæ* vivent et meurent au fond de la mer où nous trouvons leurs carapaces, ou bien si ces animalcules vivent à la surface et si en conséquence les coquilles que l'on trouve dans la vase du lit de l'Atlantique sont simplement les carapaces de ceux qui sont morts à la surface, puis tombés au fond. Les recherches de l'expédition du *Challenger* ont mis hors de doute que, vivant ou non au fond de la mer, ils pullulent en nombre prodigieux à la surface même et à quelque mètres au-dessous. La sonde en a rapporté dans toutes les latitudes, sur une surface s'étendant jusqu'à 50 et 60 degrés des deux côtés de l'équateur; et, bien qu'on les ait surtout rencontrés en abondance dans les climats chauds et tempérés, on a constaté qu'ils ne disparaissaient pas entièrement aux limites extrêmes vers le nord et vers le sud de cette zone.

Nous devons donc imaginer que sur le fond de cette zone immense de l'océan, il ne cesse de s'abattre une pluie incessante de coquilles de *globigerinæ*; ces coquilles, après être tombées de la surface en traversant des couches liquides d'une épaisseur de deux ou trois kilomètres peut-être, finissent par atteindre la vase du fond et par s'ajouter à sa masse. C'est probablement une estimation exagérée que d'admettre $\frac{1}{600000}$ de centimètre cube comme le volume moyen de la matière calcaire contenue dans chaque *globigerina* adulte¹. Néanmoins, l'exemple que nous avons donné des effets de la dénudation pluviale qui, quelque lente et insignifiante que semble être l'œuvre de détérioration du sol accomplie par la pluie et les fleuves, n'en va pas moins, quand elle se continue à travers les âges, à détruire

1. D'après Ehrenberg, 20 centimètres cubes de craie renferment plus d'un million de ces coquilles, et un kilogramme de craie plus de 20 millions.

les éléments solides du globe, prépare l'esprit à voir, dans cette chute incessante de particules calcaires, un agent non moins puissant de reconstruction. En supposant que l'épaisseur totale du dépôt de matière solide produit par la chute des foraminifères sur le fond de la mer égale un millimètre par an, et que l'Océan Atlantique et l'Océan Pacifique existent dans leur état actuel seulement depuis cent mille ans, cette opération, d'une importance en apparence si minime, aura suffi pour recouvrir le lit de ces océans d'une couche de calcaire d'une épaisseur de 100 mètres.

Quoique les coquilles des *globigerinæ* constituent en majeure partie la roche pâteuse du lit de la mer, on y trouve mêlés les restes d'autres organismes. Parmi ces organismes, abondent d'autres formes de foraminifères, une surtout, l'*orbulina* (fig. 83, B), très voisine de la *globigerina*, si même elle n'en est pas simplement une condition particulière.

On y trouve de plus d'innombrables multitudes de disques très petits, en forme de soucoupe, les *coccolithes*, que l'on rencontre souvent groupés en agrégations sphéroïdales, et les *coccosphères* de Wallich (fig. 83, C, D). On ne connaît point encore la nature exacte de ces corps si curieux.

Outre les restes organiques calcaires qui en constituent la plus grande partie, la masse molle et pâteuse du lit de l'Atlantique septentrional contient d'innombrables carapaces siliceuses dont quelques-unes appartiennent à des formes animales très simples telles que les éponges, tandis que d'autres sont des organismes végétaux appartenant au groupe des *diatomées* décrit dans le dernier chapitre. Les *diatomées* habitent la surface de l'Océan avec les *globigerinæ* et les *orbulinæ*, mais les éponges vivent au fond. Ça et là, les restes d'autres animaux qui peuplent les profondeurs de la

mer, tels que les étoiles de mer, les oursins et divers coquillages, sont aussi enfouis dans la vase et contribuent à la formation d'un dépôt sous-marin solide.

Il est très intéressant de noter que, de même que la dénudation pluviale produit une conversion seulement partielle de la matière solide en matière liquide et qu'elle se borne pour le reste à un simple déplacement des matières solides, ainsi la reconstitution des solides qui s'opère dans les parties superficielles de l'océan par l'intermédiaire des *globigerinæ* n'est pas elle-même permanente. En d'autres termes, on a des raisons de croire que les coquilles de *globigerinæ* trouvées dans la substance pâteuse du lit de la mer ne représentent pas tout le travail accompli à sa surface par les *globigerinæ* dans la sécrétion des matières calcaires en dissolution dans l'eau de mer.

On a vu que les *globigerinæ* vivent dans les couches supérieures de la mer et dans presque toutes les régions chaudes et tempérées du globe. Il semblerait donc que la vase formée par leurs débris dût recouvrir le fond de la mer dans toute l'étendue de ces régions, et en effet on la rencontre à toutes les profondeurs entre 400 et 5000 mètres sur une étendue immense dans l'Atlantique et le Pacifique.

Mais il y a certaines zones dans ces océans, embrassant des milliers de kilomètres carrés, dans lesquelles le lit de la mer est recouvert, non de la vase formée par les amas de *globigerinæ*, mais d'une vase rouge qui semble n'être qu'une argile divisée en particules très fines. Cette vase ne se rencontre habituellement qu'à des profondeurs très grandes, supérieures à 4500 mètres, et les naturalistes du *Challenger* observèrent qu'en passant d'une région où le fond est recouvert par la vase ordinaire de *globigerina* dans une des zones où il est formé d'argile rouge, on traverse une surface recouverte d'une

sorte de vase grise intermédiaire dans ses caractères entre la vase de *globigerina* et l'argile rouge. Dans le voisinage de cette vase grise, les coquilles de *globigerina* semblaient altérées comme si elles avaient été attaquées par un acide, et aux approches de l'argile rouge, elles devenaient de plus en plus fragmentaires et finissaient par disparaître entièrement.

On ne peut douter que la pluie de foraminifères s'abatte sur la surface recouverte par la vase grise et par l'argile rouge, d'une manière aussi continue qu'ailleurs. Que deviennent donc les coquilles? Il y a une conclusion, semble-t-il, à laquelle on ne peut échapper : c'est que la matière calcaire dont elles sont composées a dû être dissoute. Les *globigerinæ* sont si minces que leurs coquilles doivent mettre très longtemps à traverser les couches liquides de quatre ou cinq mille mètres d'épaisseur qui recouvrent le lit des mers très profondes. Mais l'eau de mer contient beaucoup d'acide carbonique et on sait déjà que le carbonate de chaux, surtout quand il est divisé en particules très fines, est soluble dans l'eau chargée de cet acide. Il est donc très probable que cette pluie de foraminifères est partiellement dissoute avant d'atteindre le fond de la mer et que, les autres conditions demeurant les mêmes, plus la profondeur est grande, plus grande aussi doit être la perte qui se produit de la sorte.

La difficulté est de comprendre, non pourquoi les *globigerinæ* ne se rencontrent pas dans le lit des eaux les plus profondes de l'océan, mais pourquoi la dissolution s'accélère si rapidement entre les profondeurs de 4500 et 5500 mètres, qu'à la première de ces profondeurs il subsiste des restes abondants de coquilles non dissoutes, et nulle trace à la seconde. C'est là un problème dont on n'a pu encore donner la solution.

On s'est demandé, en outre, ce qu'est cette « argile

rouge » qui succède à la vase de *globigerina* et on a supposé qu'elle n'était que le résidu qui subsiste après la dissolution de la *globigerina*, mais il n'est pas suffisamment prouvé que les coquilles de *globigerina*, dans leur état naturel de pureté, contiennent une proportion appréciable de cette matière minérale.

Une autre hypothèse, c'est que l'argile rouge est simplement formée des particules les plus fines des débris de la terre qui seraient descendues peu à peu jusqu'aux profondeurs les plus grandes de l'océan; enfin on a proposé une explication nouvelle, d'après laquelle cette argile serait le produit de la décomposition des matières volcaniques entraînées par les vents, puis disséminées finalement sur la surface de l'océan, et qu'on trouve en effet flottant de tous côtés sous forme de ponce. On constate partout dans la vase de *globigerina* la présence de fragments de matières volcaniques et il est très probable qu'une pluie de matières volcaniques se mêle à la pluie de foraminifères qui tombe sur le lit de l'océan. Si tel est le cas, dans les régions où les foraminifères sont dissous avant d'atteindre le fond, les matières volcaniques demeureraient les seuls éléments constitutifs de la vase du fond et, en se décomposant, pourraient donner naissance à l'argile rouge.

Il résulte de ce que nous avons dit que si, à la suite d'un de ces soulèvements dont nous avons précédemment parlé, le lit actuel de l'Atlantique était porté jusqu'à la surface et venait à émerger, les millions de kilomètres carrés de terres nouvelles, sorties des flots, apparaîtraient recouverts d'un lit de calcaire tendre d'une épaisseur inconnue, mais montant peut-être et même très probablement à des centaines de mètres. Cette roche calcaire serait, en majeure partie, constituée par des coquilles de *globigerina* et d'*orbulina* intactes ou fragmentaires; mais elle contiendrait en outre d'autres fora-

minifères, valves de coquillages, restes d'étoiles de mer, d'oursins et d'autres animaux pourvus d'une carapace dure, tels qu'on les trouve vivant aujourd'hui dans l'Atlantique.

Ce calcaire serait en définitive un calcaire « fossilifère » contenant plus ou moins de silice sous forme de spicules d'éponges et d'autres débris agglutinés dans sa masse, et il entrerait comme un élément de grande importance dans la composition de la croûte terrestre.

CHAPITRE XVII

GÉOLOGIE DU BASSIN DE LA SEINE

Dans les chapitres précédents, nous avons étudié la nature générale de la Seine et la configuration de la surface dont elle reçoit les eaux ; ces eaux, nous les avons accompagnées jusqu'à la mer, puis nous les avons vues revenir à la surface de la terre en passant par l'atmosphère ; nous avons analysé l'atmosphère elle-même ainsi que les eaux de la terre et des mers et nous avons ramené les unes et les autres aux corps élémentaires qui les composent. Nous avons ensuite considéré le fleuve et les pluies qui l'alimentent comme une vaste machine à broyer et à triturer dont l'action dissolvante use insensiblement la surface du bassin de la Seine et entraîne à l'océan les éléments qui la composent ; nous avons montré en même temps que la mer, celle qui baigne les plages et les hauts-fonds de l'estuaire de la Seine et des côtes adjacentes, concourait par un travail non moins persistant à la destruction de la terre. Après avoir assisté ainsi à l'œuvre de dénudation et de dissolution qu'accomplissent tous les fleuves et tous les océans, il devenait intéressant de rechercher quelles opérations naturelles peuvent tendre à compenser cette usure incessante des terres fermes. Ces agents compensateurs, nous les avons découverts dans les forces qui tendent à soulever les terres submergées, dans les volcans qui transportent des matières fluides à la surface où elles se solidifient, et enfin dans la matière