BIBLIOGRAPHIE

A. DAUBRÉE (1). — **Report on Deep-Sea Deposits, based on the Specimens collected during the voyage of the « Challenger. »** By John Murray LL. D., Ph. D., and the Rev. A.-F. Renard LL. D., Ph. D. Pp. XXIX and 496; with 43 Charts, 22 Diagrams, and 29 Lithographic plates. (London : Published by Order of Her Majesty's Government, 1891.)

VOIR PLANCHE VI

L'expédition du *Challenger* figurera parmi les plus célèbres qui aient jamais été entreprises dans l'intérêt de la science. Une publication considérable et d'une rare beauté fait connaître les faits nouveaux et importants que l'exploration a révélés, ainsi que les études approfondies dont ces faits ont été l'objet.

Pendant bien longtemps les naturalistes ont cru que les énormes pressions et l'absence de toute lumière dans les grandes profondeurs marines devaient y rendre impossible toute manifestation de la vie.

Dès 1829, le capitaine John Ross et le lieutenant, devenu général, Sabine, explorant la mer de Baffin, annonçaient, il est vrai, avoir retiré des animaux vivants d'une profondeur de plus de 1,800 mètres; mais cette assertion, de même que d'autres semblables, émanant de marins non moins dignes de foi, ne trouvaient pas le crédit auquel elles avaient droit. Ce n'est qu'en 1860, au retour d'une campagne au Groenland et à Terre-Neuve, que le docteur Wallich faisait justice des résistances à cet égard.

Vers la même époque, dès 1858, de nombreux sondages furent exécutés systématiquement pour la pose d'un câble télégraphique sous-marin entre l'Europe et l'Amérique : il en résulta des notions nouvelles pour la biologie et pour la géologie, et cela fit comprendre l'importance qu'auraient des recherches d'ensemble dans les grands bassins océaniques.

(1) A. DAUBRÉE. *Journal des Savants*, Décembre 1892, Janvier 1893. La savante analyse que le célèbre géologue français a donnée du travail de MM. Murray et Renard présente un intérêt général qui justifie la reproduction de cet article bibliographique dans les publications de notre Société. Le Conseil ayant décidé en outre d'ajouter à l'analyse de M. Daubrée la carte des sédiments pélagiques annexée au Mémoire de MM. Murray et Renard, a prié ce dernier de vouloir bien rédiger une notice explicative de cette carte. Déférant au désir de la Société, M. Renard a résumé dans une notice, qui suit l'analyse de M. Daubrée, les faits les plus saillants relatifs à la nature et à la répartition des dépôts pélagiques. *Le Secrétaire.*

Nous devons rappeler ici la valeur démonstrative, pour la question qui nous occupe, d'une observation de M. Alphonse Milne-Edwards sur des fragments d'un câble sous-marin destiné à relier électriquement l'Algérie et la Sardaigne et ayant séjourné à une profondeur de 2,000 à 2,200 mètres. Ce savant signalait des polypiers et des coquilles évidemment fixés sur ce câble dès leur jeunesse, car plusieurs s'y étaient exactement moulés et vivaient encore au moment de leur sortie de l'eau.

L'impulsion était donnée : des savants de nationalités diverses, en Norvège, en Angleterre et aux États-Unis, organisèrent des expéditions dans le dessein spécial d'explorer certaines régions profondes de la mer. Michaël Sars, sur les côtes de Norvège, Louis Agassiz et le comte de Pourtalès, dans l'Atlantique (1867 à 1869, puis en 1872), plus tard Alexandre Agassiz (1877 à 1879), firent connaître des résultats d'un très haut intérêt. En Angleterre Wyville Thomson et Carpenter, en opérant d'abord dans le voisinage des îles Féroë, puis dans la Méditerranée, arrivèrent à des résultats non moins remarquables.

Voyant surtout dans les données déjà acquises la promesse de découvertes ultérieures, plusieurs savants anglais conçurent alors le projet d'accomplir dans ce dessein spécial un voyage autour du monde, entreprise des plus vastes à laquelle ils consacrèrent tous leurs efforts. L'Amirauté, après s'être concertée avec la Société royale de Londres, mit à leur disposition une corvette à hélice pourvue d'une machine à vapeur de 1,200 chevaux, le *Challenger*, qui promena sa drague sur le fond de tous les océans, et dont le nom restera à jamais dans l'histoire des sciences. La commission scientifique, munie des engins, des laboratoires et de toutes les ressources que l'on pouvait désirer, était présidée par sir Wyville Thomson, qui avait antérieurement, comme on vient de le voir, entrepris des explorations analogues.

Bien que l'expédition du *Challenger*, comme plusieurs de celles qui venaient de la précéder, eût surtout pour but de reconnaître les êtres qui vivent à de grandes profondeurs, elle devait également, d'après son programme, étudier avec soin, à l'aide de la sonde et de la drague, les formes et la constitution minérale des grands fonds de l'océan.

La quantité relativement petite de sédiments que les croisières avaient antérieurement recueillie et les aires très limitées auxquelles s'étaient bornées les investigations ne permettaient pas d'indiquer de lois générales sur la répartition des dépôts qui doivent se former dans les abîmes de la mer. Toutefois ces premières recherches en faisaient déjà entrevoir l'importance géologique ; elles ouvraient ainsi la voie à des expéditions spéciales dans ce monde nouveau.

Le voyage du *Challenger* ne dura pas moins de trois ans et demi, du 7 décembre 1872 au 27 mai 1876. Il se fit sous le commandement de sir Georges S. Nares, lequel, en janvier 1875, laissa le vaisseau au capitaine Frank Thomson, pour conduire l'*Alert* et le *Discovery* dans les mers arctiques.

Une publication composée de trente-neuf gros volumes, tant de texte que de planches, a fait connaître les nombreuses conquêtes dont les sciences, notamment la zoologie, la botanique, la physique et la chimie, sont redevables à cette mémorable entreprise. Le luxe de l'impression, la beauté des cartes et des figures, dont beaucoup sont coloriées, ne laissent rien à désirer.

Le dernier volume, qui vient de paraître sous le nom de *Deep-Sea Deposits*, nous montre la nature du lit des mers dans leurs plus grandes profondeurs. C'est tout un ensemble de connaissances, pour la plupart entièrement nouvelles. Les choses sur lesquelles s'est faite ainsi la lumière étaient d'ailleurs éminemment de nature à solliciter l'imagination.

Si l'on considère combien est riche l'ensemble d'observations contenues dans ce volume, on ne s'étonnera pas que les auteurs l'aient fait attendre pendant plus de seize années. Toutefois ils avaient déjà satisfait en partie l'impatience du monde savant en publiant leurs principaux résultats sous la forme de mémoires isolés.

A bord du navire explorateur, M. John Murray avait été chargé de recueillir, d'examiner, de conserver et de classer, avec les indications relatives à leur provenance, tous les échantillons de fonds de mer que la sonde ou la drague ramenaient à la surface. Depuis le retour en Angleterre, ce savant s'est entièrement consacré à l'étude de cette quantité considérable de matériaux.

Par une heureuse inspiration, dès 1878, sir Wyville Thomson (1) et M. Murray demandèrent le concours de l'éminent pétrographe belge, l'abbé Renard, professeur à l'Université de Gand, dont les recherches microscopiques sur les roches avaient déjà contribué beaucoup aux progrès de la science et lui assuraient une autorité toute particulière dans ce genre d'études.

Parmi les difficultés en présence desquelles on se trouvait, il faut signaler la ténuité souvent extrême des poussières, la forme des particules presque toujours fragmentaire et leur nature plus ou moins altérée par l'action chimique de la mer.

Dans une autre partie de l'ouvrage, M. Renard avait déjà donné la

(1) Sir Wyville Thomson est mort en 1882.

description, avec la détermination précise de tous leurs éléments cristallins, des roches, la plupart de nature volcanique, recueillies dans les îles de l'océan (1). Ces roches devaient servir de termes de comparaison avec les débris de même nature qui occupent une si large place dans les grandes profondeurs de l'océan.

Outre les collections du *Challenger*, MM. Murray et Renard ont eu à leur disposition les sédiments recueillis par plusieurs autres expéditions anglaises. M. le professeur Mohn, de Christiania, leur a confié les dépôts dragués dans le nord de l'Atlantique par l'expédition norvégienne, dont les belles et importantes publications sont connues de tous les naturalistes. En outre, le *Coast Survey* des États-Unis et M. Alexandre Agassiz leur ont communiqué une série d'échantillons de sondages obtenus par divers navires américains. Ainsi les matériaux recueillis par presque toutes les explorations sous-marines ont été mis à profit dans les recherches dont les résultats vont nous occuper.

Si dans cet article il n'est pas question des deux grandes expéditions françaises si connues par leurs belles découvertes dans les mers profondes, c'est que ces expéditions sont de date postérieure à celle du *Challenger*, et que d'ailleurs elles avaient essentiellement un but zoologique. Celle du *Travailleur* est de 1880 à 1882, et celle du *Talisman* de 1880.

Quant aux études d'Albert Ier, prince souverain de Monaco, les premières datent de 1885.

Avant de signaler les découvertes relatives aux grandes profondeurs de la mer, il convient de rappeler très succinctement les connaissances jusqu'alors acquises, d'après d'innombrables recherches, sur les sédiments marins des régions, comparativement peu profondes, bordant les continents et les îles, et que nous désignerons ici sous de nom de *marginales*.

Sédiments marginaux des mers.

La configuration du fond de l'océan avait attiré l'attention des anciens ; et les observations faites sur ce sujet comme sur bien d'autres témoignent de la sagacité des philosophes grecs. Dans un ouvrage spécial, Posidonius adopte l'opinion que le grand géomètre, astronome et géographe Ératosthène avait émise plus d'un siècle auparavant, que la terre, à part des accidents qui sont imperceptibles en présence de

(1) *Report on the petrology of oceanic islands, 1888,* 180 pages avec 7 cartes et de nombreuses figures.

telles dimensions, est sphérique (1). Après avoir étudié les trois voyages d'Eudoxe de Cyzique, Posidonius concluait que l'océan entoure la terre habitable et qu'un vaisseau qui partirait du couchant avec l'Eurus en poupe arriverait dans l'Inde après un parcours qu'il évaluait à 70,000 stades (2). Le même auteur annonçait aussi que la profondeur de la mer atteint, près de la Sardaigne, environ 1,000 orgyes (1850 m.).

C'est probablement la plus ancienne indication d'un sondage de mer profonde, et il est à regretter que l'on ignore par quel procédé il a été éxécuté.

Après que les immortelles découvertes de Christophe Colomb, de Vasco de Gama et de Magellan eurent ajouté un hémisphère à la carte du monde, la connaissance de la sphéricité de la terre, de l'existence des antipodes, faisait surgir bien des idées nouvelles. Dans son voyage à travers le Pacifique, Magellan essaya, mais en vain, d'en mesurer le fond : jusqu'alors, c'est-à-dire jusqu'au milieu du XVIe siècle, on n'avait guère dépassé la profondeur de 400 mètres.

Il paraît juste de rappeler ici le nom de Buache (3), membre de l'Académie des sciences, qui fit en 1737 une première tentative pour représenter le fond de la mer à l'aide de *courbes de niveau*. Dans un mémoire publié en 1752 : « L'usage que j'ai fait des sondes, que personne n'avait employées avant moi pour explorer les fonds de la mer, me paraît, dit-il, très propre à faire connaître d'une manière sensible les pentes ou talus des côtes et nous conduit par degrés jusqu'aux fonds des bassins des mers. »

Quant à la nature des matériaux constituant le lit de la mer, Hérodote nous apprend qu'elle avait aussi été l'objet de méditations.

Avec la pénétration et la sûreté de son jugement, Strabon (4) remarque que la mer continue à recevoir, sans interruption, les alluvions des fleuves, et tend ainsi à se combler. Il estime toutefois que les sédiments des rivières, au lieu de s'étendre sur tout le fond de l'océan, se déposent dans le voisinage de l'embouchure. C'est au mouvement propre de la mer, à sa *respiration*, comme on l'appelait alors, que

(1) Strabon. *Géographie*. Traduction de M. Tardieu, t. I, p. 85.

(2) Même ouvrage, t. I, p. 92.

(3) *Essai de géographie physique où l'on propose des vues générales sur l'espèce de charpente du globe composée de chaînes de montagnes qui traversent les mers comme les terres, avec quelques considérations particulières sur les différents bassins de la mer et sur sa configuration intérieure.* (Histoire de l'Académie des sciences 1752, p. 399.)

(4) Traduction précitée de M. Tardieu, t. I, p. 92.

Strabon attribue l'impossibilité pour les sédiments de s'étendre à une grande distance des côtes. Le flot, dit-il, expulse tout corps étranger hors de son sein, produisant ainsi une *épuration*.

D'autre part, la présence de dépôts de coquilles dans l'intérieur des continents n'était pas restée inaperçue, et cette importante observation conduit Strabon à dire que « la mer a, pendant des périodes plus ou moins longues, couvert, puis laissé à sec en se retirant, une bonne partie des continents (1) ».

Cet autre point de vue pouvait procurer une notion sur les anciens dépôts des mers et, par suite, éclairer l'histoire des dépôts actuels.

L'origine des corps organisés fossiles, qu'avaient ainsi vaguement entrevue plusieurs philosophes de l'antiquité, fut aux XVe et XVIe siècles pleinement confirmée. Par un aperçu de génie, Léonard de Vinci assimila aux sédiments actuels de la mer les couches coquillières de l'Apennin, dans lesquelles il exécutait des fouilles en sa qualité d'ingénieur. De son côté, sans avoir connaissance de cette conclusion, Bernard Palissy y était lui-même conduit par ses observations en Saintonge. Simple potier de terre, il s'offrait à prouver contre tous les docteurs de Sorbonne que les fossiles sont des débris d'organismes ayant vécu au lieu même où on les trouve, « pendant que les rochers n'estoyent que de l'eau et de la vase, lesquels depuis ont esté pétrifiés après que l'eau a défailly ». Personne n'ignore combien cette ressemblance a été depuis lors clairement reconnue et précisée pour les séries de couches qui se succèdent sur d'énormes épaisseurs dans l'intérieur des continents. C'est ainsi que depuis longtemps on a été forcé d'admettre que les assises fossilifères résultent des sédiments opérés à d'anciennes époques de l'histoire du globe, pendant lesquelles les mers recouvraient de vastes régions aujourd'hui émergées.

Les dépôts que nous voyons se former aujourd'hui dans l'océan forment la continuation de ceux qui s'y sont accumulés dans la série des âges, depuis l'époque où la masse d'eau s'est condensée sur notre globe et l'a entouré d'une enveloppe liquide.

Continuellement attaquées par les agents atmosphériques, les roches se réduisent peu à peu en menus fragments. L'action chimique de l'air, le rôle physique de l'eau, l'influence physiologique des plantes concourent à leur désagrégation plus ou moins complète. Les continents, à la surface desquels ce travail s'opère partout, se couvrent ainsi de débris de roches, sur lesquels les eaux courantes ont facilement prise. Que ces eaux constituent des ruisseaux, des torrents, des rivières ou des fleuves,

(1) Ouvrage précité, p. 86.

elles saisissent, font descendre et charrient vers l'océan les particules minérales. Il en est ainsi même pour les roches les plus tenaces, telles que le granite. Ces divers détritus s'arrêtent en partie le long des fleuves; de là les accumulations de limons, de sables et de graviers, bien connues sous le nom d'alluvions, qui les bordent en différentes parties de leur cours et dont la surface unie et nivelée rappelle la nappe d'eau qui les a étalées.

A l'embouchure des rivières, dans la mer, comme dans les lacs, le ralentissement des eaux s'opère de la manière la plus marquée : aussi est-ce dans cette portion que les plaines d'alluvions sont particulièrement développées.

Les atterrissements ne sont pas restreints à cette lisière; ils s'étendent en pleine mer, sous l'action d'un transport opéré par les vagues, les marées et les courants plus ou moins constants. Ces mouvements s'exercent aussi sur les apports qui résultent de l'attaque des côtes de l'océan. C'est ce que nous apprennent les cartes marines qui figurent en même temps que les profondeurs de la mer, la nature de son fond, telle que la sonde l'a fait reconnaître. L'examen de ces cartes montre que les dépôts dont il s'agit s'étalent ordinairement sous des formes planes et constituent de véritables plaines sous-marines, comparables aux plaines limoneuses et unies qui existent aux embouchures des fleuves. Tels sont, par exemple, le fond de la Manche et les dépôts qui bordent la France dans l'Océan.

Ainsi la mer peut être considérée comme un immense atelier de trituration, de charriage et de dépôt. Elle produit en grand ce qui se fait, sur une distance de quelques kilomètres, dans le lit d'un torrent. Finalement, le dépôt s'opère dans les régions relativement calmes du bassin.

En outre, dans leur incessant travail de démolition, les eaux liquides ont des collaborateurs très actifs, dont on est exposé à méconnaître l'importance dans les pays tempérés que nous habitons. Ce sont les masses de glace qui s'accumulent dans le fond des vallées, autour des massifs montagneux couverts de neiges perpétuelles. Malgré leur apparente immobilité, ces glaciers, d'un aspect si magnifique et si imposant, sont animés d'un mouvement de descente lent et continu. Aussi, à raison de leur état solide et de leur énorme poids, constituent-ils, bien plus encore que l'eau liquide, un agent d'usure et de transport des plus énergiques. C'est surtout dans les régions peu éloignées du pôle que l'on reconnaît le rôle des torrents glaciaires et des glaces flottantes également imprégnées de détritus fins dans toute leur masse.

L'expédition norvégienne, dont les travaux sont publiés sous la

direction de l'éminent professeur Mohn (1), a très nettement déterminé les faits dont il s'agit, en ce qui concerne le Spitzberg, l'Islande et le Groënland. Les limons *(oose)* provenant de la trituration glaciaire s'étendent sur tout le fond de l'Atlantique septentrional et paraissent en former le principal sédiment jusqu'au 36e degré de latitude. On constate la présence de dépôts semblables le long de la côte de l'Amérique du Nord et dans l'hémisphère Sud, jusqu'au 40e degré environ.

Dans sa seconde expédition au Groënland, M. Nordenskiöld a bien reconnu aussi l'abondance des poussières provenant du frottement des glaciers sur leur lit. Lorsque cette argile très fine a été séchée par le soleil, elle est mise en mouvement par la moindre brise, et l'air se remplit au loin de nuages de poussière, de telle sorte que les rochers et les plantes sont couverts d'une sorte de farine grisâtre, qui donne un aspect triste à tout le pays. L'éminent voyageur a vu dans des transports de ce genre non seulement l'un des éléments des sédiments marins, mais aussi l'origine probable du limon diluvien connu sous le nom de *loess*, conformément aux opinions formulées par M. de Richthofen (2).

Il importe encore de remarquer que les courants de l'atmosphère charrient à travers les mers les plus larges des poussières terrestres de tout genre, volcaniques et autres. Les dépôts de l'Océan trouvent une active collaboration dans ces transports aériens.

Les sédiments marins ne se composent pas seulement des débris minéraux plus ou moins fins : galets, sables et limons. Des dépouilles solides, que les mollusques et autres habitants des mers laissent après leur mort, y sont associées en grand nombre et parfois même accumulées en proportion tout à fait prédominante. Ces débris perdent parfois leurs formes caractéristiques à la suite d'actions chimiques dissolvantes, de manière à augmenter la masse des dépôts d'apparence inorganique.

C'est ainsi que ces accumulations diverses se font graduellement de manière à constituer, autour des continents, une sorte de ceinture qui s'accroît sans cesse (3).

En coordonnant ce que l'on savait sur ces dépôts marginaux, les

(1) *Den Norske Nordhavs-Expedition*, 1876-1878, 9e livraison, p. 70.

(2) *La seconde expédition suédoise au Groenland.* Traduit par Charles Rabot, 1888, pp. 247 et 248.

(3) La largeur de cette ceinture est estimée en moyenne à 250 kilomètres ; elle s'étend parfois de 600 à 700 kilomètres, par exemple sur la côte du Brésil, vis-à-vis de l'Amazone.

seuls que l'on eût étudiés alors, Delesse publia, il y a trente ans, une étude lithologique du fond des mers. Les cartes hydrologiques dressées par les marins et par les ingénieurs ont servi de base à ses travaux (1). Pour les mers bordant la France, objet principal de ses études, l'auteur a d'ailleurs examiné lui-même tous les échantillons recueillis tant sur le rivage qu'au large. Des tableaux présentent, pour des centaines de dépôts, la provenance exacte, les caractères physiques, minéralogiques et organiques (2), ainsi que la composition chimique. Un atlas annexé au texte donne trois cartes lithologiques très habilement exécutées et représentant l'une les mers de la France, l'autre les mers de l'Europe et la troisième les mers de l'Amérique du Nord.

Dans certaines régions du littoral, la nature du fond de la mer a été si complètement étudiée dans toutes ses particularités qu'on s'en forme une idée à peu près aussi exacte que si ce fond n'était pas soustrait à nos regards par la couche d'eau qui le recouvre. Tel est particulièrement le cas pour le Pas-de-Calais.

Déjà Thomé de Gamond, lorsqu'il prit l'initiative de traverser la Manche au moyen d'un tunnel, avait reconnu la nécessité de s'appuyer sur une étude du sol sous-marin (3). Réduit à ses ressources personnelles et dépourvu d'appareil de plongeur, le promoteur de cette tentative, avec la témérité qui témoigne d'une ardeur excessive pour l'exécution de son projet, ne craignit pas de se jeter au fond de la mer dans un bizarre appareil de son invention. Après avoir intrépidement plongé trois fois dans une même journée, il avait acquis des données utiles sur une distance d'un kilomètre et demi du rivage.

Plus tard, lorsqu'on voulut étudier le même problème d'une manière plus exacte, on comprit la nécessité de s'appuyer sur un ensemble de données de haute précision. Tout d'abord, il fallait reconnaître, sur le fond de la mer, la continuité des lignes d'affleurement des diverses couches du terrain crétacé qu'on voit apparaître, bien semblables, sur les deux falaises française et anglaise, de chaque côté du détroit. Une commission composée de MM. Larousse, Potier et de Lapparent, fit

(1) *Lithologie des mers de France et des mers principales du globe.* Paris, 1872.

(2) M. le docteur Fischer, qui a étudié les caractères organiques de ces dépôts, y a déjà reconnu, entre autres résultats intéressants, l'importance des bryozoaires et des foraminifères, comme il arrive dans beaucoup des anciennes couches sédimentaires.

(3) Thomé de Gamond. *Étude pour l'avant-projet d'un tunnel sous-marin entre l'Angleterre et la France, reliant sans rompre charge les chemins de fer de ces deux pays par la ligne de Grinez à Eastware, avec la carte du tracé projeté et le profil du tunnel traversant le diagramme géologique du massif submergé.* In-4°, Paris, 1857.

exécuter sept mille coups de sonde, dont près de trois mille rapportèrent des échantillons déterminables, et, grâce à la géologie, l'entreprise, qui d'abord paraissait si aléatoire, reposait désormais sur des faits positifs et parfaitement constatés. On apprit que le percement pouvait être constamment maintenu dans une couche dite *la craie grise*, assez tendre pour se laisser facilement entamer, assez imperméable pour ne pas livrer passage aux eaux.

Enfin, tout récemment, après avoir dû renoncer à un passage sous-marin, on recherche le moyen d'établir un pont sur le Pas-de-Calais. Le fond de la Manche fut de nouveau l'objet de très nombreux relevés précis. Cette fois, il fallait particulièrement connaître la nature du terrain sur lequel reposeraient les piles. C'est ce qu'a fourni la nouvelle exploration faite en 1890 par M. J. Renault, ingénieur hydrographe, pour laquelle, en dehors du matériel ordinaire à sonder et à draguer, il avait été construit des appareils spéciaux de forage. Quatre cents forages ont été exécutés et il n'a pas été donné moins de trois mille coups de sonde.

Les sédiments marginaux dont nous venons de parler, et auxquels MM. Murray et Renard donnent le nom de *terrigènes*, s'étendent le long des continents, sur une zone qui, à partir du rivage, occupe des dimensions variables de 100 à 500 kilomètres. Ils forment en outre le fond des mers intérieures, telles que la Méditerranée, les mers du Nord, de Chine, du Japon et des Antilles.

Outre les dépôts marginaux dont nous venons de parler et ceux des grandes profondeurs qui vont nous occuper, il en existe qui établissent entre eux comme un intermédiaire et auxquels les auteurs ont donné le nom de *dépôts littoraux d'eau profonde*.

Les débris terrigènes y jouent encore le principal rôle. En effet, parmi les produits enlevés à la terre ferme, il en est qui restent assez longtemps en suspension dans l'atmosphère ou dans la mer pour être transportés jusque dans le domaine des mers profondes. C'est ainsi que des particules de quartz et d'autres roches, dont l'origine continentale est bien reconnaissable, ont été rencontrées jusqu'à des profondeurs de 7,000 mètres.

On doit particulièrement distinguer la *boue bleuâtre (blue muds)*, caractérisée par une couleur ardoise, qui résulte de la présence des matières organiques en décomposition. Elle exhale souvent une odeur d'hydrogène sulfuré; elle est alors mélangée de sulfure de fer. C'est souvent le cas dans le voisinage d'un continent, où de grandes rivières apportent en suspension des matières organiques réductrices. Des fragments de minéraux, tels que le quartz, le mica et le feldspath, en

grains très fins, du diamètre d'un demi-millimètre au plus, s'y montrent souvent.

Sédiments abyssaux des mers.

Jusqu'à ces derniers temps, on n'avait exploré, parmi les sédiments de l'Océan, que ceux qui se déposent, comme nous venons de le voir, dans le voisinage des continents et des îles, et les bordent comme des ceintures sur des largeurs généralement assez faibles, comparativement aux vastes dimensions des mers.

Au delà d'une profondeur de 500 à 600 mètres, les vagues et les courants ne paraissent plus exercer d'effets érosifs. A moins de circonstances exceptionnelles, l'agitation des eaux et les actions mécaniques dont nous sommes témoins dans le voisinage des terres ne se font donc plus guère sentir dans les abîmes. Il résulte, il est vrai, des observations thermométriques du *Challenger* que des eaux froides sont animées d'un mouvement sur les grands fonds de l'Océan, des pôles vers l'équateur; mais ce mouvement est très lent et ne saurait exercer que peu d'influence sur la répartition des sédiments marins.

Sur des milliers de kilomètres, on peut naviguer dans certaines directions à travers l'Atlantique et le Pacifique, sans y voir affleurer aucune terre et en constatant partout les profondeurs de plusieurs milliers de mètres. Que se passe-t-il dans ces vastes régions, où les vagues qui agitent la surface ne peuvent exercer d'actions mécaniques sur aucune masse solide? C'est ce qui ne pouvait être connu, ni même soupçonné, avant que des sondages nombreux et répartis sur de grandes étendues eussent fourni leur contingent d'observations. Rapporter des échantillons de fonds situés à plusieurs milliers de mètres de la surface, c'était d'ailleurs une opération difficile; pour la mener à bonne fin, il fallait le secours d'outillages ingénieux, puissants et habilement manœuvrés; l'expédition du *Challenger* a surmonté tous les obstacles.

Bien différents des sédiments marginaux, les fonds des grands bassins océaniques ont reçu des auteurs le nom de pélagiques; nous préférons ici celui d'*abyssaux*, qui rappelle avec plus de précision la grande profondeur qui en constitue le caractère essentiel.

Le premier chapitre de l'ouvrage fait connaître les méthodes employées pour amener les matériaux du fond jusqu'à la surface, puis pour les décrire.

Dans le deuxième chapitre, on expose la nature et la composition des échantillons ainsi obtenus, qui sont au nombre de trois cent cinquante. Des tables synoptiques donnent, pour chacun d'eux, la date à laquelle

il a été recueilli, la longitude, la latitude et la profondeur dont il provient, ainsi que la température correspondante de la mer, tant au fond qu'à la surface. D'autres colonnes mentionnent les caractères de ces échantillons, déterminés tant par l'examen à l'œil nu qu'à l'aide du microscope, ainsi que leur analyse chimique. On y trouve aussi d'intéressantes remarques sur la variation dans la nature des dépôts selon les conditions dont ils proviennent.

Après avoir donné une description détaillée de tous les produits ainsi obtenus pendant l'expédition, on examine systématiquement, dans le troisième chapitre, les différentes sortes de dépôts qui sont actuellement en voie de formation.

Le quatrième chapitre est consacré aux débris, coquilles, tests, squelettes ou autres parties dures des organismes marins, le plus souvent microscopiques, de nature calcaire ou siliceuse, qui s'accumulent dans les mers profondes. Ces êtres inférieurs appartiennent principalement à l'embranchement des protozoaires et à la classe des foraminifères, ainsi qu'à des algues telles que des diatomées. Pour la plupart, ils habitaient à proximité de la surface, où on les observe encore sur de vastes étendues et en quantités considérables. Après la mort, leurs dépouilles diverses sont tombées au fond de la mer, et elles s'y sont graduellement superposées.

Quelque digne d'intérêt que soit le rôle de la vie jusque dans les abîmes de la mer, nous laisserons ici cette question de côté pour étudier les substances essentiellement minérales auxquelles ces vestiges organisés sont généralement associés.

Ce qui, avant tout, est à signaler dans les parties centrales des grands bassins océaniques, c'est la disparition graduelle des dépôts terrigènes : ils sont remplacés par des débris volcaniques.

Déjà en 1856, ce contraste avait été entrevu lors des sondages exécutés dans le nord de l'Atlantique pour l'établissement d'un câble télégraphique entre l'Irlande et Terre-Neuve. L'idée qui s'était d'abord présentée était que les silicates scoriacés rapportés à la surface pouvaient n'être que des cendres de houille, rejetées par les bateaux à vapeur qui sillonnent en grand nombre cette partie de la mer. Mais un examen plus attentif y fit reconnaître des débris bien caractérisés de ponce et d'obsidienne. Dès lors on dut les considérer comme des produits rejetés par des volcans, et probablement par les moins éloignés de cette région, ceux de l'Islande, des Açores, des Antilles ou de l'Amérique centrale.

Aujourd'hui de très nombreux sondages, opérés dans des régions fort diverses, nous apprennent que des produits volcaniques s'étendent

généralement sur les grandes profondeurs de l'Océan. Ce sont le plus souvent des matières incohérentes, vitreuses et boursouflées, semblables à celles que l'on désigne depuis longtemps sous le nom de *ponces*, du nom des îles où on les exploitait déjà dans l'antiquité : leur texture spongieuse est due aux gaz et vapeurs qui s'en sont dégagés lorsque la substance n'était pas encore refroidie ou consolidée.

Souvent aussi les substances que les dragues ont rapportées du fond de la mer sont également de nature vitreuse; mais, au lieu d'être de composition trachytique comme les ponces, elles se rapprochent des basaltes ; les menus fragments ou *lapilli* sont de la grosseur d'une noix ou d'un pois.

Il est remarquable que la texture vitreuse, comparativement rare dans les volcans de la terre ferme, soit si fréquente dans les débris volcaniques qui occupent le fond de la mer, comme si elle trouvait dans les éruptions sous-marines des circonstances favorables à sa production.

C'est M. Murray (1) qui, le premier. a, en 1876, signalé l'importance et la place considérable que les substances d'origine volcanique occupent dans les grandes profondeurs.

Mais les caractères originels de ces déjections ignées ont été plus ou moins profondément modifiés en subissant l'action prolongée de l'eau de mer. Tandis que les ponces se sont transformées en une matière terreuse et friable, les *lapilli* pyroxéniques ont produit une substance conservant un éclat brillant, semblable à celle qui a reçu de Sartorius de Waltershausen le nom de *palagonite*.

Il est des matériaux pierreux, tels que les ponces, qui, à raison de leur porosité, surnagent quelque temps après être arrivés à la surface de la mer, avant que l'eau, ayant graduellement pénétré dans leurs pores, leur ait fait gagner le fond.

C'est ainsi que le *Challenger* a souvent rencontré dans ses filets des fragments de ponce, de volume variable depuis la tête d'un homme jusqu'à celle d'un grain de moutarde, et habituellement arrondis. Cette ponce avait l'aspect de celle de Lipari, avec des fibres allongées et d'aspect soyeux; les morceaux flottaient isolés à la surface de la mer, recouverts en partie d'animaux marins qui s'étaient fixés à leur surface. La fréquence de ces rencontres s'explique facilement, car la mer reçoit une énorme quantité de pierres de même nature par beaucoup de rivières qui y affluent : tel est particulièrement le cas en Nouvelle-Zélande, au Japon et dans l'Amérique du Sud.

(1) Communication faite à la Société royale d'Édimbourg.

Comme il est aisé de le comprendre, des matières pulvérulentes en suspension, provenant d'éruptions, ont aussi été observées à la haute mer.

Ajoutons qu'à diverses reprises des navigateurs ont signalé à la surface de la mer une accumulation de ponces sous forme de nappes flottantes, parfois serrées et assez étendues pour s'opposer à la marche de leur navire. Tel a été le cas en juillet 1878, dans le sud de l'océan Pacifique, d'après le capitaine Turpey, et, d'après le capitaine Harrington, en mars 1879. Quant au *Challenger*, il n'a pas observé sur son trajet de ces sortes de radeaux.

Les circonstances qui ont accompagné l'éruption du Krakatau ou Rakata le 27 août 1883 (1) rendent bien compte de l'abondance des ponces au fond des régions abyssales de la mer.

Lors de ce cataclysme, la prodigieuse abondance de menus matériaux qui ont été apportés au jour était telle que le ciel en était obscurci. Un des témoins raconte : « Le soleil étant au-dessus de notre tête, pas la plus petite lueur du ciel, pas la plus petite trace lumineuse diffuse à l'horizon, et cette affreuse nuit a duré dix-huit heures. Le navire *le London* se trouvait condamné à rester sur place, devant le péril qui l'attendait. »

Quelques heures plus tard, le 28 août, à 500 kilomètres à l'ouest du détroit de la Sonde, le navire *le Salazie* reçut un orage violent accompagné d'éclairs et de coups de tonnerre effrayants; après quelques minutes d'intervalle, l'eau fut remplacée pendant trente-six heures par du sable qui aveuglait les voyageurs et, bientôt après, par une poussière blanche et impalpable, formée de ponces, de telle sorte qu'au point du jour le navire semblait couvert de neige.

La part importante des déjections volcaniques fragmentaires dans les profondeurs des mers s'explique aisément, comme nous allons le voir.

Pour les volcans situés sur les continents, les matériaux très ténus connus sous le nom impropre de cendres et les petites pierrailles ou *lapilli*, en raison de leur ténuité, sont souvent emportés par les courants atmosphériques jusqu'à des distances considérables et gagnent en grande partie la mer, où finalement ils se déposent. Le transport de particules très fines n'a, pour ainsi dire, pas de limite, tant pour l'air que pour l'eau qui sont en mouvement.

Outre les volcans subaériens, il en est dont l'orifice ou cratère est sous-marin, de sorte que le fond de la mer est fréquemment le siège d'érup-

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XCVI, p. 1100, 1883.

tions. Des sondages récents ont révélé dans le Grand Océan la présence de montagnes isolées et coniques, ayant la forme caractéristique des volcans et s'élevant des profondeurs, sans toutefois atteindre la surface. Quoique les circonstances soient peu favorables à l'observation, les éruptions sous-marines paraissent être nombreuses. Dans beaucoup de cas, ces éruptions se trahissent par des émanations sulfureuses, des colonnes de vapeur d'eau, des projections de cendres, de scories et de ponces. Quelquefois c'est l'apparition d'îles formées de débris incohérents, qui plus tard disparaissent, comme on en a vu dans la Méditerranée, dans l'Atlantique, au voisinage des Açores et dans l'océan Pacifique.

Après l'éruption du Krakatau, un énorme dépôt de ces matériaux incohérents recouvrit tout le pays; son épaisseur, sur un rayon de 15 kilomètres, était de 20 à 40 et quelquefois de 80 mètres. Deux îles, Stears Eiland et Calmeyer-Eiland, formées par ces déjections, prirent naissance.

En outre, il s'était formé en quelques heures un immense barrage flottant, constitué par des ponces, qui fermait la baie de Kampong dans le détroit de la Sonde. La longueur de ce barrage était d'environ 30 kilomètres, sur une largeur de plus de 1 kilomètre et une profondeur de 4 à 5 mètres, soit 150 millions de mètres cubes de projectiles.

On pouvait remarquer alors comment s'opèrent dans la mer l'usure et la trituration de ces matériaux friables qui se pressaient les uns contre les autres. En se choquant et se frottant entre elles, les pierres s'arrondissaient et acquéraient la forme de cailloux roulés qu'offrent généralement les ponces pêchées ou draguées dans l'océan. D'autre part, cette trituration donnait lieu à une multitude de très menues esquilles semblables, d'après l'examen qu'en a fait M. Renard, pour l'aspect et la composition minéralogique, aux ponces pulvérulentes que les dragues rapportent si abondamment des grands fonds.

M. Verbeek estime que le volume total de sable et de cendre de ce formidable cataclysme s'éleva à 18 kilomètres cubes. Quelque énorme que soit ce volume, il est encore dépassé par celui que vomit le Timboro ou Tambora en 1815, volume qui était au moins, dit-on, de 150 kilomètres cubes.

Les bassins océaniques sont très favorablement disposés pour recevoir de beaucoup de points et assez fréquemment des déjections volcaniques : la distribution générale des volcans à la surface du globe explique bien la part considérable qui revient à leurs déjections dans les profondeurs des mers.

En effet, le plus grand nombre d'entre eux, environ les 7/8, sont

disposés en longues séries linéaires qui contournent l'océan Pacifique, ainsi que beaucoup d'îles de cet océan; on a pu comparer le pourtour de cette immense masse d'eau à un anneau de feu où l'action volcanique est à peine interrompue. L'Atlantique présente aussi de nombreux centres d'activité du même genre, soit dans les archipels, soit dans les continents qu'ils bordent.

Il doit donc arriver que les menus matériaux, cendres et *lapilli*, qui jaillissent des évents éruptifs de notre planète, en raison de leur ténuité arrivent, pour la plus grande partie, dans les grands océans; s'ils n'y tombent pas directement, ils y sont apportés par les courants de l'atmosphère, et souvent jusqu'à une grande distance de la bouche de sortie.

Substances minérales d'origine extra-terrestre.

Parmi les substances qui ont été rencontrées dans les dépôts des mers profondes, il en est quelques-unes qu'il ne paraît pas aux auteurs possible de rapporter à une origine terrestre. A raison de leur rareté, elles ne forment qu'une portion insignifiante des dépôts; mais l'intérêt qu'elles présentent résulte de l'origine cosmique qu'on est conduit à leur attribuer. Dès 1876, M. Murray a appelé l'attention sur la singularité de ces particules.

Au milieu des parties attirables que le barreau aimanté peut extraire de certaines vases des abîmes, on remarque des globules microscopiques noirs, dont l'intérieur consiste en fer métallique et qui sont revêtus d'une pellicule d'oxyde métallique. Des traces de cobalt y ont été reconnues.

A ces sphérules métalliques en sont associées d'autres de nature pierreuse; ces dernières sont brunes et d'un éclat bronzé; leur diamètre n'est moyennement que d'un demi-millimètre et n'atteint jamais le double de cette dimension. Un examen au microscope apprend qu'ils ne sont pas parfaitement sphériques, que leur surface, au lieu d'être lisse, est striée, et que leur structure est lamelleuse, affectant une disposition excentrique (1). Les corpuscules dont il s'agit ont donc la texture ainsi que la forme de ceux qui abondent dans les météorites pierreuses et en sont caractéristiques. Comme ces derniers, que Gustave Rose a désignés sous le nom de *chondres*, ils consistent en un silicate appartenant à l'espèce enstatite ou bronzite. Ainsi il suffit qu'une météorite

(1) C'est ce que des figures de l'ouvrage représentent très nettement, par exemple pl. XXIII, fig. 11.

soit tombée dans la mer et s'y soit désagrégée pour que l'on conçoive la mise en liberté de certains globules.

Quant aux globules métalliques, ils ressemblent complétement pour l'aspect extérieur à ceux qui prennent naissance lorsque des parcelles de fer s'enflamment en jaillissant dans l'air, par exemple par le choc du marteau sur l'enclume. Il s'en produit sans doute d'analogues lorsque les météorites lancent des étincelles en traversant l'atmosphère, animées d'une grande vitesse et échauffées jusqu'à l'incandescence. MM. Murray et Renard s'estiment, en conséquence, autorisés à qualifier les poussières métalliques, ainsi que les globules pierreux, de *poussières cosmiques.*

Il résulte d'un grand nombre d'exemples que les poussières cosmiques se rencontrent surtout dans l'argile rouge qui occupe les grandes profondeurs du Pacifique, loin de toute terre continentale. Dans ces conditions, le dépôt ne paraît avoir qu'une faible épaisseur et ne s'opérer qu'avec une lenteur extrême.

Les faits dont nous sommes journellement témoins rendent très compréhensible une collaboration cosmique dans l'édification des dépôts sous-marins.

Chacun a remarqué l'abondance des poussières contenues dans l'atmosphère et qu'un rayon de soleil, traversant une pièce obscure, suffit pour révéler. Ces poussières se rencontrent encore dans la couche qui recouvre tous les objets dans un local non habité, et même en pleine campagne, où l'air est relativement tranquille.

On est même de plus en plus unanime pour considérer l'atmosphère comme un véhicule non moins actif que l'eau relativement aux dépôts sédimentaires.

De nombreux observateurs se sont appliqués à dresser le catalogue des matériaux renfermés dans les poussières atmosphériques. Nous n'avons pas à rappeler ici ce qui concerne les corpuscules organiques et organisés, au nombre desquels, comme l'ont montré M. Pasteur et ses élèves, les microbes occupent une place si prépondérante. Ce qui nous intéresse, c'est que des grains minéraux y sont aussi prodigieusement abondants.

Cette partie minérale consiste principalement en très menus débris de roches terrestres que, malgré leur très petite dimension, le microscope permet de déterminer exactement : tels sont le quartz, le calcaire, des silicates volcaniques, le fer oxydulé, dont le diagnostic est assez facile.

En poursuivant ces examens microscopiques, on a été frappé de la rencontre de corpuscules tout à fait différents, par leur forme sphé-

rique, des menus fragments produits par le concassement des roches. Les corpuscules dont il s'agit ressemblent exactement aux globules creux ou vésicules d'oxyde auxquels donne lieu la combustion vive du fer métallique, par exemple, lorsqu'on se sert de l'ancien briquet, ou quand le fer des chevaux étincelle sur le pavé. Il est pourtant légitime de ne pas considérer tous ces globules comme dérivant d'une origine artificielle.

A cet égard, deux ordres de considérations peuvent être invoqués.

Tout d'abord, il est démontré que des blocs formés de fer métallique ou renfermant des granules de ce métal nous arrivent des espaces célestes et subissent, dans les hautes régions de l'atmosphère, une combustion superficielle. Celle-ci se manifeste par de longues traînées de fumée, souvent persistantes, qui accompagnent les bolides; elles doivent très probablement renfermer des globules analogues à ceux que donnent le briquet et le fer des chevaux.

En plusieurs circonstances, on a pu constater l'énorme volume des poussières dont il s'agit par les nuages ou traînées qui ont accompagné l'arrivée de ces corps célestes. A raison de l'importance du fait, nous en citerons quelques exemples.

Lors de la chute de l'holosidère ou fer de Hraschina, près d'Agram (26 mai 1731) on aperçut, après l'explosion, un nuage noir qui persista, dit-on, pendant trois heures et demie après la chute.

Au moment de l'arrivée du fer de Braunau, en Hongrie, qui eut lieu le 14 juillet 1847, beaucoup de personnes, averties par deux violentes détonations, remarquèrent un petit nuage noir, qui s'établit horizontalement, avec accompagnement de violentes détonations; deux globes de feu, qui tombèrent sur le sol, sortirent de ce nuage, qui devint gris, puis se dissipa.

Le bolide qui, le 14 mai 1863, apporta les météorites charbonneuses aux environs d'Orgueil (Tarn-et-Garonne), donna naissance à une gerbe d'étincelles, puis laissa derrière lui une traînée, d'abord lumineuse, qui se transforma en une nébulosité persistante d'une durée de 8 à 10 minutes.

Avant l'explosion du bolide auquel nous sommes redevables des aérolithes tombés, le 9 décembre 1858, à Ausson et à Clarac, près de Montréjeau (Haute-Garonne), on vit un jet considérable de fumée incandescente se dégager du noyau. Un nuage de vapeur blanchâtre se forma au centre de l'explosion, et une traînée des mêmes vapeurs persista, avec ce nuage, sur toute la ligne suivie par le météore.

La chute de l'Aigle, du 26 mai 1803, d'après la narration circonstanciée de Biot, s'annonça par un globe enflammé, accompagné

d'une explosion violente qui dura cinq à six minutes : c'était d'abord comme quatre coups de canon, puis une décharge ressemblant à une fusillade. Ce bruit partait d'un petit nuage très élevé et de forme rectangulaire, qui parut immobile tout le temps que dura le phénomène.

D'ailleurs, en dehors des chutes de météorites proprement dites, il tombe certainement des poussières cosmiques. Elles n'ont pas, autant qu'elles l'auraient dû, attiré l'attention ; car il est difficile de les distinguer de celles d'origine terrestre, qui, sans comparaison, sont les plus nombreuses. On les reconnaît cependant lorsqu'elles sont annoncées également par les remarquables phénomènes de lumière et de bruit que nous venons de rappeler. Le catalogue que Chladni publia en 1824 en fait connaître plusieurs exemples, parmi lesquels figure le suivant : En 1819, à Montréal (Canada), on observa une pluie noire, accompagnée d'un obscurcissement extraordinaire du ciel, de détonations comparables à celles de l'artillerie et de lueurs des plus brillantes. On crut d'abord à l'incendie d'une forêt voisine, coïncidant avec un violent orage. Mais l'ensemble du phénomène et l'examen de la matière tombée ont prouvé qu'il était dû à l'arrivée dans l'atmosphère de matières étrangères à notre globe.

Il tomba à Lœbau, en Saxe, le 13 janvier 1835, une poudre formée d'oxyde magnétique, Cette chute suivit l'explosion d'un bolide, qui se mouvait, dit-on, avec une vitesse extraordinaire et dont les éclats paraissaient brûler en traversant l'atmosphère.

Les météorites charbonneuses d'Orgueil, dont l'apparition dans l'atmosphère vient d'être rappelée et qui sont si intéressantes à plusieurs points de vue, ont été très instructives en ce qui regarde l'existence des poussières météoriques. Elles sont friables, au point que certains échantillons se réduisent en poudre par la simple pression entre les doigts. On peut donc s'étonner qu'ils soient arrivés entiers à la surface du globe.

Peut-être s'explique-t-on ce fait en remarquant les deux circonstances suivantes. D'abord chaque fragment était enveloppé, au moment de la chute, d'une croûte vitrifiée, plus solide que le reste de la masse. En outre, les diverses parties de la substance sont cimentées par des sels alcalins ; l'eau, en dissolvant ce ciment, amène la désagrégation complète de la météorite, qui se réduit en une poussière de la plus grande ténuité. De sorte que, si le 14 mai 1864 le ciel, au lieu d'être parfaitement pur, se fût trouvé pluvieux ou simplement couvert de nuages à travers lesquels ces pierres auraient dû passer, on n'aurait pu recueillir qu'une boue visqueuse, comparable à celles dont on a observé la chute dans plusieurs circonstances.

Outre les faits tirés de phénomènes actuels, un deuxième argument pour croire à l'origine cosmique de certains globules ferrugineux recueillis dans les poussières atmosphériques résulte de la découverte qu'on a faite de globules tout semblables dans des sédiments antérieurs à l'existence de l'homme et dont plusieurs datent même de périodes géologiques très reculées. Pour borner nos exemples, nous mentionnerons, d'après MM. G. Tissandier et Stanislas Meunier (1), l'abondance des petits corps dont il s'agit dans les sables verts et les argiles qui recèlent la nappe d'eau jaillissante des puits artésiens de Paris.

Cette origine cosmique paraît faire comprendre comment des poussières semblables abondent dans des régions éloignées de tout lieu habité. Au sommet des plus hautes montagnes, sur le mont Blanc par exemple, l'eau de fusion de la neige fournit un sédiment où ne manquent pas les globules qui nous occupent.

La présence du nickel dans certains d'entre eux paraît confirmer leur origine extra-terrestre. C'est le cas pour ceux que, lors de son ascension de 1877, M. Albert Tissandier a recueillis au col des Tours à 2,710 mètres d'altitude.

D'après le nombre si restreint de chutes de météorites dont on recueille chaque année les produits, on ne se fait qu'une idée très incomplète de leur fréquence. L'énorme majorité échappe nécessairement aux recherches les plus actives, même au milieu des populations les plus denses, soit en se dissimulant dans la végétation en raison de leur petitesse habituelle, soit parce qu'elles s'enfouissent dans le sol. Le plus grand nombre doit d'ailleurs tomber dans les pays inhabités ou sauvages et surtout dans le bassin des mers.

C'est ainsi qu'*a priori* on reconnaît qu'il doit exister des poussières cosmiques non seulement à la surface des continents, mais aussi dans le bassin des océans.

Sans amoindrir l'incontestable portée des faits qui viennent d'être exposés, il convient toutefois de tenir compte de quelques phénomènes géologiques auxquels des globules minéraux peuvent devoir naissance.

Telle est l'ouverture des canaux verticaux comme les cheminées volcaniques qui, sous le nom de *diatrèmes*, traversent l'écorce terrestre et dont j'ai récemment réalisé la production par la méthode expérimentale (2). La perforation de roches variées, traversées par des courants

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXXXVI, p. 450, 1878.

(2) Recherches expérimentales sur le rôle possible des gaz souterrains, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. CXI et CXII, 1891.

gazeux doués à la fois d'une très forte pression, d'une grande vitesse et d'une haute température, a dû produire des poussières où les grains sphéroïdaux, souvent creux, sont très abondants.

Produits chimiques et minéralogiques formés sur les grands fonds de l'Océan.

Chaque jour nous voyons sur les continents des roches de nature très diverse se modifier chimiquement sous la simple action de l'air et de l'eau, et donner ainsi naissance à de nouvelles substances. De même les dépôts formés dans les profondeurs de la mer n'ont pas échappé à certaines actions chimiques, malgré la température voisine de zéro qui y règne. Un état d'extrême ténuité les rend d'autant plus susceptibles d'être attaqués. Les matières minérales que l'eau marine tient en dissolution contribuent sans doute activement à ces modifications.

Avant l'expédition du *Challenger*, les résultats de ces réactions et les espèces minérales qui y prennent naissance nous étaient, pour la plupart, inconnus, bien que ces espèces occupent une grande partie du lit de l'océan. L'étude exacte qui en a été faite par le *Challenger* constitue peut-être, pour les géologues et les minéralogistes, la partie la plus intéressante de l'exploration. Nous allons successivement passer en revue les espèces qui ont été constatées.

Argile rouge. — De tous les sédiments marins, le type le plus étendu sur les mers profondes a reçu le nom d'*argile rouge*. C'est essentiellement un silicate hydraté d'alumine, dont la couleur est due à un mélange intime de peroxyde de fer; parfois aussi elle emprunte à l'oxyde de manganèse une coloration brune. Plastique, comme la plupart des argiles, grasse au toucher, elle peut se mouler entre les doigts; séchée, elle se prend en une masse cohérente; soumise au chalumeau, elle fond en un globule noir magnétique.

Malgré une apparence homogène, il est rare que l'argile rouge ne soit pas mélangée de très menus fragments de ponces et d'autres produits volcaniques. Lorsqu'ils ne sont pas reconnaissables à l'œil nu, ces débris se décèlent au toucher par leur nature grenue. Accidentellement l'argile rouge peut renfermer aussi des détritus d'origine continentale charriés par des glaces flottantes ou entraînés au loin par les vents. Tous ces débris sont très fins et ils dépassent rarement 1/20 de millimètre.

Ordinairement l'argile rouge est associée à des débris calcaires et siliceux provenant d'organismes d'une petitesse microscopique, dont il a été question plus haut. Ces organismes y sont mélangés en proportion

variable et parfois prédominent de manière à en modifier beaucoup l'aspect. De là les noms de *vase à globigérines* et de *vase à radiolaires*, selon que l'un ou l'autre de ces êtres la caractérise. Chacune de ces catégories de dépôts, dans les grands fonds, occupe de vastes étendues (1). Tandis que les sédiments terrigènes ne représentent que 14 p. 100 de la superficie du fond des mers, l'argile rouge en occupe 38 p. 100 et la vase à globigérines 36 p. 100. Les diatomées, sorte d'algues à squelette siliceux, abondent surtout vers les régions polaires.

Ainsi que nous l'avons dit, ces divers organismes ont vécu, pour la plupart, dans les eaux de la surface, d'où leurs débris solides sont tombés, après la mort, dans les profondeurs.

De vastes régions du Pacifique, de l'Atlantique et de l'océan Indien sont occupées par l'argile rouge, associée à des organismes microscopiques.

D'après une nombreuse série de sondages, à mesure qu'on descend plus profondément, le test calcaire des divers organismes disparaît graduellement des sédiments vaseux, de sorte qu'on arrive à ne plus trouver, loin de la surface, que l'argile rouge tout à fait privée de chaux sous forme organisée. Les coquilles des ptéropodes disparaissent d'abord, puis les enveloppes des foraminifères, qu'un enduit de matières organiques paraît protéger. Il y a lieu de croire que cette élimination du carbonate de chaux est due à l'action de l'acide carbonique dissous dans les couches profondes des eaux océaniques, où son activité chimique est renforcée par l'énorme pression qui y règne. La silice des organismes résiste mieux, et c'est ainsi que leurs squelettes, spicules et autres vestiges siliceux s'accumulent sur le fond.

Tout paraît indiquer que la formation de l'argile rouge est essentiellement due, comme celle de plusieurs des autres minéraux dont il va être question, à la décomposition des produits volcaniques incohérents et très ténus qui abondent sur tous les grands fonds de l'océan. Dans les régions où l'argile rouge se montre avec ses caractères les plus nets, on peut suivre, dans ses phases successives, cette transformation des roches volcaniques en matières argileuses. Celles-ci sont le produit direct d'une décomposition chimique, surtout des silicates, qui sont basiques et en partie représentés par des ponces et des verres volcaniques.

(1) L'aire de la vase à radiolaires s'étend surtout entre les latitudes 20 degrés nord et 10 degrés sud (voir pl. VI).

Les vases à globigérines occupent environ 110 degrés de latitude et gisent parfois à 5,000 mètres de profondeur. Les unes et les autres disparaissent à proximité des régions polaires.

Ebelmen (1), si prématurément enlevé à la science, qu'il dotait de découvertes empreintes de génie, nous a le premier appris comment les roches silicatées alumineuses, principalement celles d'origine éruptive, si fréquentes à la surface du globe, se décomposent sous la simple action de l'atmosphère ; leurs protoxydes, tels que la chaux et la magnésie, sont enlevés à l'état de carbonate, tandis que l'alumine se concentre avec la silice, de manière à former un silicate hydraté de la famille des argiles.

Ce sont des réactions lentes du même genre, qui paraissent se produire sur le fond de l'océan aux dépens des silicates volcaniques, aidées peut-être par l'action chimique de l'eau de mer.

Certaines vases fusibles renferment, très probablement, encore des parties non décomposées, mais en poussières si fines qu'on peut les confondre avec de l'argile. Il en est ainsi pour les boues que j'ai obtenues dans des expériences sur la trituration du feldspath ; celles-ci possèdent une ténuité telle qu'elles sont douces au toucher comme l'argile et douées comme elle de plasticité.

Zéolithes. — Malgré la température très basse qui règne sur le lit de l'océan, des réactions chimiques paraissent y donner naissance à des minéraux nettement cristallisés, dont le plus remarquable, sans contredit, appartient au groupe des silicates doubles hydratés connus sous le nom de zéolithes.

Ces zéolithes se rencontrent en grande abondance sous la forme de petits cristaux isolés, simples ou groupés géométriquement (maclés), souvent en sphérules, atteignant à peine un demi-millimètre de diamètre, et, dans tous les cas, noyés dans l'argile. L'examen cristallographique et chimique a appris qu'on doit les rapporter à l'espèce dite *christianite* ou *philippsite*. C'est dans le centre du Pacifique que la découverte en a été faite. Elle a été renouvelée dans l'océan Indien.

On aurait pu croire que ces innombrables cristaux de christianite proviennent de la simple désagrégation des roches volcaniques, à la pâte desquelles ils auraient été associés ; mais les foraminifères que la drague rapporte des profondeurs sont parfois complétement enveloppés par des enduits cristallins de ce minéral ; ce qui prouve bien qu'il n'en est pas ainsi. La zéolithe s'est formée postérieurement au dépôt des sédiments, engendrée par la formation des matériaux volcaniques qui recouvrent le lit de l'océan.

Glauconie. — Parmi les dépôts minéraux rencontrés au fond des

(1) Voir l'article de M. Chevreul dans le *Journal des Savants*, 1848, p. 104.

mers, il est un autre silicate hydraté, connu sous le nom de *glauconie*, qui a pour bases l'alumine, le protoxyde de fer et d'autres métaux. Son mode de formation, ainsi que les grandes étendues où la glauconie se rencontre, la signalent d'une manière particulière à l'attention. Elle affecte la forme de petits grains de couleur verte et complétement semblables, pour la forme, la dimension et l'aspect, aux particules du même minéral qui abondent, à divers horizons géologiques de la série des roches stratifiées, depuis les plus anciennes périodes jusqu'aux plus récentes. La glauconie joue donc un rôle considérable aussi bien dans l'espace que dans le temps.

La formation actuelle de ce minéral dans les grandes profondeurs de la mer, déjà signalée il y a une quarantaine d'années par Bailey et Pourtalès, a été l'objet d'études nombreuses, notamment de la part d'Ehrenberg.

Oxyde hydraté de manganèse (wad), oxyde hydraté de fer (limonite). — Deux autres espèces à mentionner, parmi celles auxquelles a donné et donne sans doute encore naissance la chimie sous-marine, ce sont les oxydes hydratés de manganèse et de fer, qu'on observe surtout en nodules. Ces substances sont disséminées sur toute la surface du fond des mers, mais particulièrement dans les aires à argile rouge. Il est facile de comprendre cette association, les roches volcaniques dont dérivent les argiles contenant abondamment du fer et du manganèse dans leurs minéraux constitutifs : péridot, pyroxène et autres. Par suite de leur décomposition, les oxydes sont mis en liberté, conformément aux réactions qu'Ebelmen a si bien démontrées (1).

Parmi les débris organiques et inorganiques qui, dans les régions à argile rouge, servent de centre aux concrétions ferro-manganésifères, on constate fréquemment des restes de vertébrés. Les ossements que l'on retrouve ainsi sont les pièces les plus résistantes des squelettes, telles que les caisses tympaniques de cétacés et des dents de squales. De même que nous voyons les organismes calcaires éliminés dans les grandes profondeurs, de même aussi l'on constate que, sauf ces parties très massives, tout ossement de vertébré fait défaut dans les sédiments profonds.

Quelques-uns de ces restes de vertébrés appartiennent à des espèces éteintes.

(1) Dans un appendice, M. Gibson signale, à l'aide de l'analyse spectroscopique, dans les nodules manganésiens, des traces d'éléments variés : baryum, strontium, lithium, titane, vanadium et thallium.

Chaux phosphatée. — Au large du cap de Bonne-Espérance, la drague a rapporté, de profondeurs diverses, entre 200 et 4,000 mètres, des vases quartzeuses et glauconifères chargées de restes d'organismes variés, les uns de nature calcaire, comme les foraminifères, les autres de nature siliceuse, comme les spicules d'éponges, les radiolaires et les diatomées.

Dans ces vases se trouvaient des concrétions solides, de 1 à 4 centimètres de diamètre et empâtant tous les éléments tant organiques qu'inorganiques du sédiment. L'analyse chimique a démontré que le ciment de ces concrétions consiste principalement en phosphate de chaux.

Les sédiments à rognons phosphatés présentent la plus grande ressemblance avec certaines couches bien connues et appartenant à divers étages des anciens terrains, notamment du crétacé, grès vert, grès glauconieux, craie blanche. La ressemblance, qui porte non seulement sur les nodules, mais aussi sur les sédiments qui les renferment, est telle qu'il y a évidemment similitude dans le mode de formation des uns et des autres.

Quant à l'origine de ce phosphate de chaux, l'idée la plus simple et que tout confirme, c'est qu'il dérive immédiatement de la décomposition de débris d'animaux, enfouis après leur mort dans les sédiments : leur forme s'est détruite par l'effet des réactions que l'eau de mer y détermine.

Observations générales.

Ce n'est pas seulement en nous éclairant sur des faits considérables du ressort de la géographie physique, non plus qu'en nous apportant une foule de notions nouvelles sur les êtres animaux et végétaux qui peuplent les abîmes de l'océan, que l'expédition du *Challenger* a bien mérité de la science.

La nature du lit de ces abîmes, dont la profondeur, sur de vastes étendues, dépasse 4,000 mètres et atteint parfois plus de 8,000 mètres, nous était naguère inconnue. Les sédiments formés aux dépens de la terre ferme que l'on observe non loin des continents ne se poursuivent pas dans ces régions : car les mouvements de la mer, auxquels ces sédiments marginaux doivent leur origine, n'y exercent pas leur pouvoir.

Ici, on ne distingue plus de particules minérales sur lesquelles l'action mécanique de l'eau aurait marqué son empreinte ; ce sont des matériaux volcaniques et pulvérulents, ainsi que des substances argileuses provenant de leur décomposition chimique, le tout associé à des

restes d'organismes microscopiques. Tels sont les sédiments qui recouvrent la plus grande partie de l'écorce sous-marine du globe.

Pour la première fois nous entrevoyons les principales lignes d'une carte géologique du fond des mers, montrant la manière dont les différents types de dépôts sont répartis sur les grands fonds de l'océan. Cette carte (reproduite ici en annexe, voir pl. VI), est jointe au volume; elle résume, sous une forme synoptique et au moyen de couleurs conventionnelles, les résultats de plus de 2,000 sondages exécutés à des profondeurs supérieures à 2,000 mètres (1).

Entre autres faits qui ressortent de la carte dont il s'agit, on remarque tout d'abord combien les dépôts abyssaux l'emportent en étendue sur les dépôts marginaux. Pour ces derniers, la grande prédominance de l'argile rouge et de la vase à globigérines se signale à première vue, tant dans l'Atlantique que dans le Pacifique. Quant à la vase à diatomées, on la voit abonder dans l'océan Antarctique au delà du 50e degré de latitude.

Les dépôts des régions abyssales contrastent tout à fait, non seulement avec les dépôts actuels des mers moins profondes, mais aussi d'une manière marquée avec ceux qui se sont formés dans les mers des anciennes périodes géologiques et qui, superposés sur des milliers de mètres, constituent la série des terrains stratifiés.

Dans ces anciens terrains, les sédiments de nature abyssale paraissent faire défaut, ou du moins être très rares. D'où la conclusion que les parties des mers où se sont successivement formés les terrains sédimentaires n'étaient pas dans des conditions de profondeur comparables à celles où se trouvent les régions abyssales de l'Atlantique et du Pacifique : elles n'étaient pas très éloignées des parties émergées ou continentales, et n'atteignaient pas de très grandes profondeurs.

On est donc amené à conclure que, depuis les époques les plus reculées, les proéminences continentales occupent à peu près les mêmes parties du globe. Les saillies se sont modifiées graduellement par des exhaussements généraux, ainsi qu'il est arrivé sur une petite échelle, par exemple dans la formation de la chaîne des Alpes. Les grandes dépressions remontent donc à une haute antiquité et la configuration générale du sphéroïde terrestre, avec les vastes et profondes dépressions que nous y constatons aujourd'hui, aurait été ébauchée dès les époques les plus anciennes de son histoire.

C'est la confirmation d'une idée à laquelle on était antérieurement

(1) Ces sondages sont au nombre de 1,600 pour l'Atlantique, de 300 pour l'océan Indien et de 400 pour le Pacifique.

arrivé par d'autres considérations. Déjà Agassiz la formulait en 1872, en discutant les observations faites par de Pourtalès sur les profondeurs de l'Atlantique, et en remarquant qu'on n'y trouve pas de vestiges de terrain stratifié, ni moderne, ni ancien.

Différents faits portent à penser que l'argile qui recouvre le fond des bassins océaniques ne s'est déposée qu'avec une extrême lenteur. Le dépôt paraît être peu épais et remonter, au moins dans certaines parties, à des périodes reculées. Cela explique l'abondance relative avec laquelle peuvent s'y rencontrer les poussières cosmiques, ainsi que les débris les plus résistants de cétacés.

C'est avec une tout autre rapidité que s'accumulent les sédiments terrigènes.

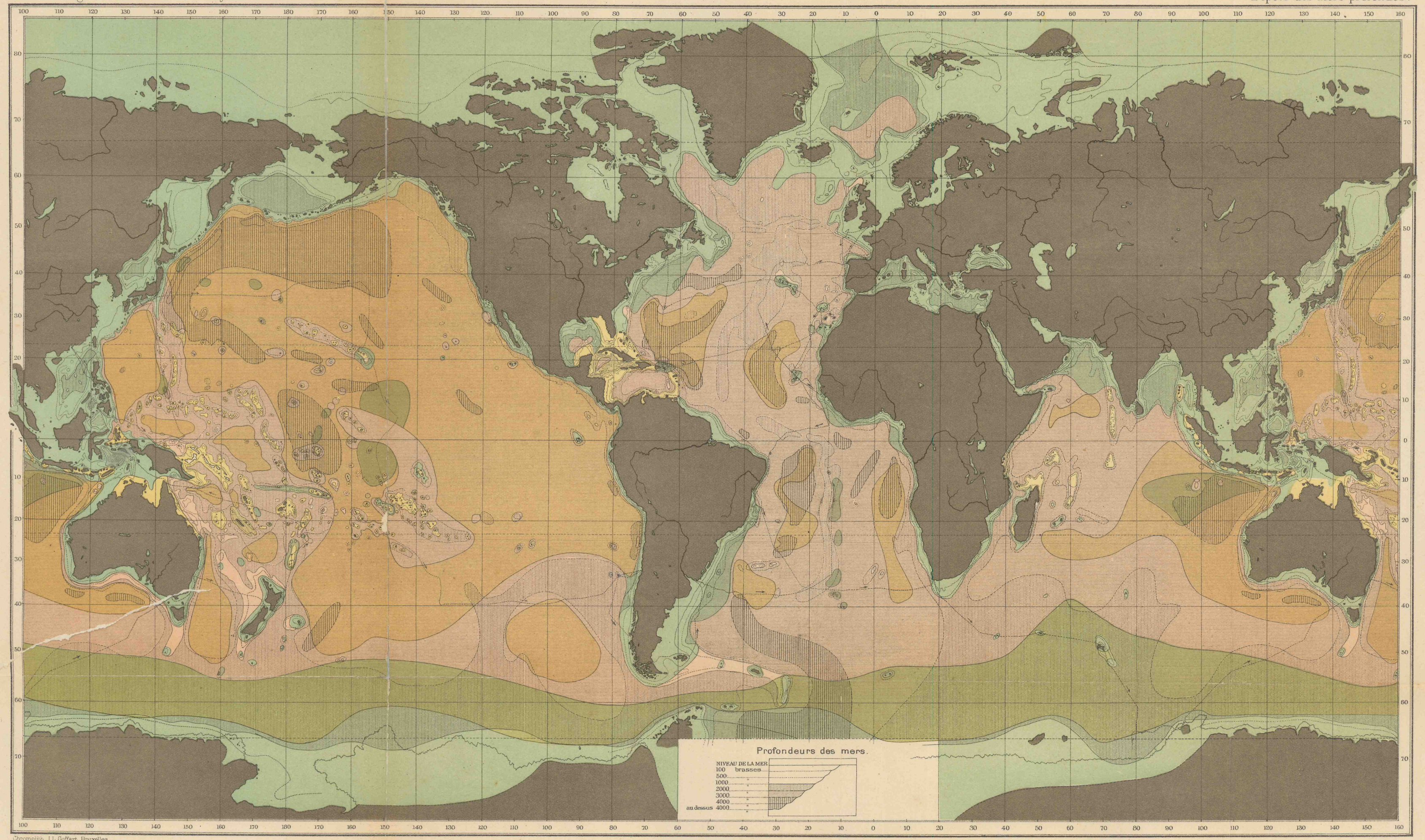
Depuis que nous connaissons le mode de formation des sédiments dans les grandes profondeurs de la mer et les réactions chimiques qui y ont déterminé la production de diverses espèces minérales, il nous a été ouvert des horizons nouveaux sur des phénomènes dont nous n'avions naguère aucune idée et dont cependant plus de la moitié de l'écorce solide de notre planète est le théâtre.

L'examen du bel ouvrage qui vient de nous occuper apprend combien sont nombreux les faits sur lesquels s'appuient les conclusions des auteurs. Il montre aussi avec quel soin consciencieux les échantillons recueillis ont été examinés par tous les procédés dont dispose la science.

Honorons donc les hommes qui ont organisé l'expédition du *Challenger*, ceux qui l'ont réalisée avec tant de courage, d'énergie et d'habileté, et ne rendons pas un moindre hommage aux deux savants, M. John Murray et M. A. Renard, des travaux desquels nous venons de signaler les résultats et de faire ressortir l'importance.

A. DAUBRÉE.

Dépôts des Mers profondes.



Chromolith. J. L. Goffart. Bruxelles.

D'après J. Murray et A. Renard.