

NOTICE
SUR
LA CLASSIFICATION, LE MODE DE FORMATION
ET LA
DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE
DES
SÉDIMENTS DE MER PROFONDE

par JOHN MURRAY,

Directeur de la Commission du *Challenger*,

et A. F. RENARD,

Conservateur au Musée royal d'histoire naturelle de Belgique.

La mer est l'agent de la dynamique externe du globe dont les effets sont le plus profondément empreints à la surface de notre planète; cependant l'attention des géologues n'a été guère attirée que sur son action au voisinage immédiat des continents. Il est incontestable que c'est aux phénomènes qui se passent près des côtes et sous des eaux peu profondes qu'on doit rapporter la formation des dépôts marins, qui constituent la plus grande partie de couches sédimentaires. L'exploration du fond des mers a révélé l'existence de sédiments de nature spéciale qui se forment au large dans la zone littorale d'eau profonde ou qui se déposent, loin des côtes, dans les grandes dépressions océaniques. Les dépôts de la zone littorale d'eau profonde ne diffèrent pas qualitativement des matières qui s'accumulent près du rivage, et qui forment une étroite ceinture autour des continents; ils ne s'en distinguent que par l'atténuation du grain et parce qu'ils se déposent sous des eaux plus profondes; les éléments qui en constituent la partie essentielle sont de même nature que ceux qui bordent immédiatement les terres. Quant aux sédiments pélagiques proprement dits, leur

composition ne pouvait guère être soupçonnée avant les croisières scientifiques entreprises dans le but d'explorer les abîmes de la mer. Ces matières, qui s'accumulent en dehors de l'action mécanique de l'eau, dans les régions les plus éloignées des terres, aux points où ni l'érosion ni le transport ne peuvent exercer une influence sensible, présentent des particularités remarquables que nous nous proposons de décrire. Sans nier que l'action mécanique des eaux ne puisse, dans des circonstances exceptionnelles, se faire sentir à de grandes profondeurs, il n'en est pas moins vrai que les eaux agitées de la mer, considérées comme agent géologique, ne produisent leur effet principal que sur une zone relativement étroite, bordant les continents ou les îles. Le Pacifique nous offre des aires de milliers de milles où n'affleure aucune terre, et l'Atlantique nous présente des conditions analogues. Que se passe-t-il sur ces vastes régions où les vagues ne peuvent exercer d'action mécanique sur aucun objet solide? Nous répondrons à cette question en faisant connaître les résultats de l'examen des sédiments de mer profonde.

L'étude des dépôts pélagiques, obtenus par les dragages et les sondages des océans, montre que leur nature organique et minéralogique, leur mode de formation, leur distribution géographique et bathymétrique mènent à des déductions présentant un puissant intérêt au point de vue géologique. Les données que nous ferons connaître sur la composition de ces sédiments et sur leur distribution nous permettent d'esquisser pour la première fois les grandes lignes d'une carte géologique du fond des océans actuels.

Nous nous réservons de traiter ailleurs l'historique des études sur les dépôts terrigènes de la zone littorale d'eau profonde et sur les sédiments pélagiques proprement dits. Dès les premières explorations sous-marines, entreprises dans le but de déterminer la profondeur des grandes mers, on avait recueilli à l'aide de la sonde de petites quantités de vase ou de boue, qui avaient été l'objet de descriptions sommaires. Bornons-nous à rappeler ici les observations de Ross, de Hooker et de Maury. Ces recherches, quoique exécutées dans des conditions assez défavorables au point de vue des appareils mis en jeu, attirèrent immédiatement l'attention des naturalistes; mais elles ne fournirent pas cependant le moyen d'établir des conclusions générales sur la nature, la classification et la distribution des dépôts pélagiques.

Dès que des sondages systématiques furent inaugurés, dans le but d'établir les communications télégraphiques entre l'Europe et l'Amérique, l'intérêt pour ces recherches s'éveilla chez une foule de savants qui en pressentirent l'importance pour la biologie et la géologie : les travaux de Wallich, d'Huxley, d'Agassiz, de Pourtalès, de Carpenter, de Wyville Thomson et de beaucoup d'autres nous en donnent la preuve. Mais ces naturalistes, sans négliger toutefois l'étude minéralogique et chimique des échantillons ramenés des grands fonds, s'occupèrent surtout des questions relatives aux organismes qu'ils découvraient.

La quantité relativement petite de sédiment qu'ils recueillaient à l'aide de leurs appareils et l'aire limitée sur laquelle portaient leurs investigations ne permettaient guère d'indiquer des lois générales sur la constitution et la distribution géographique ou bathymétrique de ces dépôts. Cependant ces recherches, qui révélaient un monde nouveau, montrèrent l'importance géologique de l'étude des dépôts de mer profonde ; elles ouvrirent la voie aux expéditions organisées dans le but spécial d'explorer scientifiquement les bassins océaniques.

La croisière du *Challenger* tient incontestablement le premier rang parmi celles qui vinrent le plus enrichir nos connaissances sur les sédiments de mer profonde. Durant cette expédition, M. Murray réunit une quantité considérable de matériaux. Par ses soins, ces précieux documents furent ramenés en Angleterre pour être soumis à un examen détaillé. Il fit connaître dans plusieurs notices préliminaires la nature des matières qui se déposent sur le lit des grands océans. Dans le but d'étudier le sujet à la fois au point de vue biologique et minéralogique, M. Renard fut associé à M. Murray pour décrire ces sédiments.

Outre les importantes collections du *Challenger*, nous avons eu à notre disposition les sédiments recueillis par les expéditions anglaises du *Porcupine*, du *Buldog*, du *Valorous*, du *Nassau*, du *Swallow* et du *Dove*. M. le professeur Mohn nous a confié les dépôts dragués par l'expédition norvégienne dans l'Atlantique du Nord. Enfin nous devons au Coast Survey des États-Unis et à M. Agassiz l'importante série de sondages exécutés par les navires américains le *Blake*, le *Tuscarora* et le *Gettysburg*. On peut donc avancer que les études auxquelles nous nous sommes livrés ont porté sur l'ensemble des matériaux recueillis par presque toutes les grandes expéditions sous-marines.

Malgré un travail assidu de plusieurs années, l'examen et la description de ces grandes collections de sondages ne sont pas encore terminés; toutefois nos recherches sont assez avancées pour permettre d'établir quelques-unes des conclusions qui nous paraissent avoir une certaine portée. Nous les indiquons dans cette notice préliminaire, qui comprendra la description des caractères généraux des variétés principales de sédiments, leur répartition géographique et l'exposé sommaire des méthodes et du plan que nous avons suivis dans notre travail.

Tous les détails relatifs à ces recherches seront consignés dans notre Rapport sur les sédiments de mer profonde qui clôturera la série des mémoires sur l'expédition du *Challenger*. Nous y publierons les cartes indiquant la répartition des dépôts pélagiques, les planches montrant les principaux types de sédiments et un nombre considérable d'analyses donnant la composition chimique mise en rapport avec la constitution minéralogique des sondages. La description de chacun des sondages ou des dragages sera accompagnée de l'indication des organismes recueillis en même temps que le sédiment; de cette manière notre travail fournira toutes les indications biologiques et minéralogiques que nous possédons sur les fonds des mers et sur les organismes qui les peuplent; enfin nous établirons les conclusions auxquelles nous serons amenés et que nous ne pouvons encore qu'esquisser aujourd'hui.

Avant d'aborder les sujets que nous avons à traiter dans cette notice, nous croyons devoir insister sur les difficultés qui accompagnent nécessairement le genre d'étude que nous avons entrepris. Elles dérivent du peu de substance dont généralement on peut disposer pour établir les caractères d'un sondage. Comme nous nous sommes efforcés de déterminer avec toute l'exactitude possible la composition du sédiment pour un point donné, nous avons toujours décrit les matériaux recueillis dans les sondages. Ceux qui proviennent de dragages nous offrent à vrai dire plus de substance, mais celle-ci ne représente pas le sédiment normal : les méthodes suivies pour la recueillir déterminent un triage pendant que la drague balaye le fond et qu'on la remonte. Cependant nous avons toujours examiné avec soin les matières sédimentaires ramenées par les dragages, quoique nous soyons persuadés qu'elles ne montrent pas aussi exactement la nature des dépôts pour un point donné que ne le feraient les échantillons recueillis à l'aide de la sonde. Nous avons donc, autant qu'il était possible, pris comme

point de départ de nos descriptions les matières renfermées dans le tube de sondage, malgré les difficultés que présentait la description des quantités souvent minimes de vase obtenues par ce procédé. Le peu de substance que pouvaient recueillir les premiers explorateurs des mers profondes, à l'aide des appareils dont ils disposaient, ne permettait guère, avons-nous dit, d'arriver à des résultats généraux; mais lorsqu'on peut s'aider dans la détermination des sondages par les matières ramenées des mêmes points en quantité assez considérable à l'aide de la drague, il devient plus aisé de préciser la nature générale d'un sédiment.

Presque toujours nous avons dû lutter contre des difficultés inhérentes à la nature même de ces sédiments : nous voulons parler de la finesse du grain et du mélange de particules organiques et inorganiques. Malgré tous les perfectionnements récemment introduits dans l'étude microscopique des minéraux, on comprend que l'examen de fragments extrêmement petits ne permet pas d'appliquer toutes les ressources de cet instrument. La détermination de ces dépôts marins est rendue plus compliquée par la présence d'une quantité considérable de matière minérale amorphe, par le mélange de coquilles, de squelettes et de particules infinitésimales d'origine organique. On doit remarquer aussi que nous avons presque toujours affaire à des minéraux fragmentaires, plus ou moins altérés par l'action chimique de la mer et dont les caractères distinctifs sont souvent effacés.

Ce qui rend enfin ces recherches difficiles, c'est la détermination de l'origine et du mode de formation de ces matières sédimentaires, sur lesquelles les connaissances étaient en quelque sorte dans l'enfance au début de l'exploration des mers profondes. Dans ces études il faut tenir compte d'une foule de conditions spéciales et d'agents : les courants océaniques, la distribution de la température à la surface et au fond des océans, la répartition des organismes considérée dans ses rapports avec la température et la densité de l'eau; la limite de transport par les vagues et les eaux courantes, l'influence des glaces flottantes qui entraînent loin des côtes les particules minérales. Il est nécessaire en outre de ne pas perdre de vue les réactions chimiques qui se passent dans les grandes profondeurs. En un mot, il faut faire appel à tous les renseignements que peuvent fournir les sciences biologiques et physiques. On comprendra que la tâche que nous avons entreprise présente de sérieuses difficultés, comme d'ailleurs toute exploration

d'un nouveau champ scientifique, et qu'elle réclame des efforts soutenus pour être menée à bonne fin.

En publiant ce résumé succinct des méthodes que nous avons suivies, de la nomenclature que nous avons adoptée et de nos recherches sur l'origine des sédiments pélagiques et des zones littorales de mer profonde, notre but est surtout de le présenter comme un plan de travail et de le soumettre à une critique éclairée.

Avant d'indiquer les méthodes que nous avons appliquées, de décrire les diverses variétés de sédiments qui se forment au fond des grandes mers et de montrer leur distribution géographique et bathymétrique, nous ferons connaître en quelques mots les matières que nous avons pu déterminer comme éléments constitutifs de ces dépôts; nous essayerons d'en retracer l'origine, de signaler les agents qui concourent à leur transport et à leur sédimentation, enfin nous dirons les modifications qu'elles subissent.

MATÉRIAUX DES SÉDIMENTS PÉLAGIQUES.

Si l'on envisage au point de vue de leur origine les matériaux qui concourent à former les dépôts que nous avons à décrire, on peut les classer en deux groupes : ils sont de nature minérale ou organique.

Les particules minérales amenées à la mer ont des formes et des dimensions qui varient suivant les agents qui déterminent leur transport. On peut dire, d'une manière générale, que leurs dimensions diminuent en raison de la distance à la côte; mais nous avons à nous occuper ici exclusivement des caractères minéralogiques de ces matières. On trouve dans les sondages et les dragages des fragments de roches et de minéraux isolés, qui dérivent des formations cristallines, schisto-cristallines, des roches clastiques et sédimentaires. D'après la nature de la côte voisine, ils appartiennent aux roches granitiques, dioritiques, diabasiques, porphyriques, etc., aux schistes, aux calcaires anciens et aux formations sédimentaires de toutes les périodes géologiques. Ils sont associés aux minéraux qui dérivent de leur désintégration : le quartz, les feldspaths monoclinique et tricliniques, la hornblende, l'augite, les pyroxènes rhombiques, l'olivine, la muscovite, la biotite, la magnétite, le fer titané, la tourmaline, le grenat, l'épidote et d'autres minéraux secondaires. La trituration et la décomposition de ces roches et de ces minéraux donnent naissance à des particules plus ou moins amorphes, dont les caractères distinctifs sont très vagues, mais dont le mode de formation et l'origine sont indiqués par leur association avec les roches et les minéraux que nous avons mentionnés.

Il est incontestable que les débris des roches continentales auxquelles nous venons de faire allusion jouent le rôle le plus important au voisinage immédiat des côtes. Nos recherches montrent en effet que, lorsqu'on s'avance vers les parties centrales des grands bassins océaniques, ces débris terrigènes disparaissent graduellement et qu'ils sont remplacés par des substances minérales provenant des roches volcaniques modernes : les basaltes, les trachytes, les andésites augitiques et les variétés vitreuses de ces familles lithologiques : les ponces et les produits volcaniques incohérents. Ces substances minérales sont en général extrêmement divisées et poreuses; elles sont donc aisément attaquables par l'eau de mer dans laquelle elles séjournent. Cette action chimique décompose

les minéraux et les particules vitreuses ; elle donne naissance dans des circonstances spéciales à la formation de produits secondaires. Dans certaines régions le lit de l'océan est recouvert de dépôts attribuables à cet agent : le plus important de ces produits est incontestablement la matière argileuse, que l'on trouve répandue sur les grands fonds associée à des concrétions de manganèse et de fer. Dans d'autres régions où ces réactions déterminent la décomposition des produits volcaniques en matière argileuse on constate en même temps la formation de zéolithes. Parmi les produits dus à l'influence chimique des eaux, combinée probablement à l'action des matières organiques, on peut mentionner la glauconie, des nodules phosphatiques et, dans certains cas douteux, des dépôts de silice. La décomposition des tissus des coquilles et des squelettes d'organismes vient ajouter à l'élément inorganique des sédiments de mer profonde de petites quantités de fer, de fluor et d'acide phosphorique. Mentionnons enfin la présence dans ces dépôts de substances extra-terrestres qui s'y décèlent sous la forme de poussière cosmique.

Il reste maintenant à envisager le rôle joué par les organismes dans la formation des dépôts marins. Les plantes et les animaux vivant à la surface de l'océan, le long des côtes et au fond de la mer sécrètent continuellement le carbonate de chaux et la silice contenus dans l'eau de mer. Leurs coquilles, leurs squelettes et leurs débris, venant s'accumuler sur le fond après la mort de ces organismes, donnent naissance à des dépôts calcaireux et siliceux. Les vases calcaires sont formées des restes de coccosphères, de rhabdosphères, de foraminifères, de mollusques pélagiques et de mer profonde, de coraux, de polyzoaires, d'échinodermes, d'annélides, d'alcyonaires, etc. Les vases siliceuses sont constituées essentiellement par des frustules de diatomées, des squelettes de radiolaires et des spicules de spongiaires.

Si les organismes microscopiques pélagiques et de mer profonde que nous venons d'indiquer prennent la part la plus considérable dans la formation des sédiments de mer profonde, les vertébrés au contraire ne laisseraient guère de traces, n'était la présence d'un grand nombre de dents de squales, de caisses tympaniques et d'autres ossements de cétacés que l'on trouve localisés dans certaines régions de la mer. On observe souvent des otolithes de poissons dans les sédiments ; mais à l'exception de deux vertèbres et d'une omoplate on n'a pas découvert d'ossements de ces êtres dans le grand nombre de dragages que nous avons étudiés.

AGENTS QUI CONCOURENT A FORMER LES SÉDIMENTS PÉLAGIQUES.

Après avoir énuméré les éléments variés qui constituent les dépôts dans la zone littorale profonde et sur les aires océaniques proprement dites, il importe de fixer l'attention sur les agents de transport et de distribution, et sur la sphère de leur action. Nous indiquerons en même temps les relations existant entre les éléments organiques et inorganiques des sédiments, et les lois qui régissent leur distribution.

Les agents atmosphériques attaquent continuellement les roches émergées, dont les débris meubles peuvent être entraînés par les courants atmosphériques ou par les eaux et être amenés enfin à l'océan sous la forme de particules solides ou en solution. Les vents, après avoir désagrégé les roches, peuvent en transporter des débris loin des continents et les abandonner sur les aires pélagiques; cédant à la pesanteur, ils viennent s'accumuler sur le fond et former une partie appréciable des sédiments qui s'y déposent. C'est ce que l'on constate sur la côte nord-ouest de l'Afrique et sur la côte sud-ouest de l'Australie. De même, lors des éruptions volcaniques, les poussières et les scories qui sont projetées dans l'air peuvent être entraînées à d'immenses distances par les courants atmosphériques et venir se déposer sur le lit des mers.

Mais c'est l'action de l'eau qui doit être considérée comme la plus puissante au point de vue de la formation et de la répartition des sédiments marins. Les eaux de l'océan sous la forme de vagues et de marées attaquent les côtes et en entraînent les débris à un niveau inférieur; les eaux courantes érodent la surface des terres et emmènent les fragments triturés à la mer. Indépendamment de l'action des vagues, il existe, le long des côtes, des courants plus ou moins constants qui peuvent porter au large du sable, du gravier et des cailloux; la limite de transport des matières terrigènes est comprise dans une zone qui s'étend depuis le rivage jusqu'à 100 ou 300 milles. Les vagues et les courants ne possèdent plus d'action érosive ou de transport à une profondeur qui dépasse 200 à 300 brasses, et pour qu'ils puissent produire alors des effets mécaniques, il est nécessaire que le fond de la mer présente une configuration spéciale. Il n'est pas impossible dans ce cas et dans celui de chaînes sous-marines, que le fond de la mer ne soit agité jusqu'à cette grande profondeur; on expliquerait ainsi les fonds pierreux qu'on

constate en ces points. Des observations faites sur les côtes de France ont montré que la boue est quelquefois déplacée même à une profondeur de 150 brasses. En admettant qu'il en soit ainsi sur certaines côtes, tout semble indiquer qu'à des profondeurs dépassant 100 brasses le mouvement des eaux se réduit à une vibration incapable d'exercer une action géologique.

Quoique les grands courants océaniques n'aient pas d'influence directe sur le fond de la mer, il n'en est pas moins vrai cependant qu'ils agissent indirectement sur la nature des sédiments : ainsi les organismes qui vivent dans le courant chaud équatorial forment une partie considérable des sédiments qui se déposent dans cette zone. Ces matières sédimentaires doivent donc différer beaucoup de celles qui s'accumulent dans les régions où l'eau froide est étalée à la surface. Nous ajouterons encore que la densité plus ou moins élevée des eaux superficielles est un facteur important de la distribution des organismes dans l'océan; elle influe par conséquent sur le caractère des sédiments.

Les observations thermométriques du *Challenger* montrent que les eaux froides se meuvent lentement sur les grands fonds de l'océan, qu'elles descendent des pôles vers l'équateur; toutefois on pourrait aisément prouver que ce mouvement extrêmement lent, affectant la masse entière des eaux profondes, ne peut avoir d'influence sur la répartition des sédiments marins.

Les glaces côtières détachées des glaciers et entraînées par les courants marins transportent des matières détritiques et les déversent dans l'océan à mesure qu'elles se fondent. C'est ainsi que dans les régions arctiques et antarctiques de la mer le caractère propre des sédiments est modifié par la présence de substances terrigènes apportées par les banquises. On peut retrouver ces boues glaciaires dans le Nord de l'Atlantique jusqu'à 36° de latitude, le long de la côte d'Amérique, et dans l'hémisphère Sud on les constate jusqu'à 40° de latitude environ.

Signalons ici que l'eau de mer ne peut retenir les particules minérales en suspension qu'un temps beaucoup moins long que l'eau douce : ce fait est d'une grande importance quand on veut préciser la limite à laquelle sont entraînées en haute mer les matières argileuses très fines et les particules charriées par les rivières. Dans cette zone d'atterrissement se forment les dépôts côtiers qui se différencient essentiellement des dépôts pélagiques.

Nous avons indiqué l'influence de la température et de la salure des mers sur la distribution des organismes de surface, dont les

restes forment une partie essentielle dans certains dépôts pélagiques. Nous devons mentionner aussi que la distribution bathymétrique des organismes calcareux est à son tour influencée par l'action chimique de l'eau de mer. Nous aurons l'occasion d'insister sur cette donnée, lorsque nous parlerons de la distribution des diverses variétés de dépôts et des relations qu'ils présentent dans les régions profondes de la mer où, ni l'action des rivières et des vagues, ni celle des courants superficiels ne peuvent se faire sentir.

MODE DE DESCRIPTION.

Nous donnons ici un exemple de la description d'un sédiment; tous les dépôts marins ont été décrits de la même manière.

Station 338. Lat. 21° 15' S. Long. 14° 2' O. 21 mars 1876; température de la surface, 76° 5' Fahr.; température du fond, 36° 5' Fahr.; profondeur, 1990 brasses.

VASE A GLOBIGÉRINES. — Le sédiment mouillé est blanc avec teinte rosée, granulaire, homogène; séché, il est très faiblement cohérent, ressemble à de la craie.

Carbonate de calcium, 90.38 %. — Restes de foraminifères pélagiques [80 %], coccolithes et rhabdolites [9 %], millioles, discorbines et autres foraminifères, valves d'ostracodes, fragments de spicules d'échinodermes et quelques rares fragments de ptéropodes [1.38 %].

Résidu, 9.62 % brun-rougeâtre. — Il est formé de *Minéraux* [1.62] di. m. 0^{mm},45, fragments de feldspath, hornblende, magnétite, sphérules magnétiques, quelques granules de manganèse, ponce.

Organismes siliceux [1 %]. — Radiolaires, spicules de spongiaires et moules de foraminifères.

Matières amorphes [7 %]. — Matières argileuses avec beaucoup de particules minérales, de fragments de ponce et d'organismes siliceux.

La description des sédiments a été faite sur ce plan, auquel nous nous sommes arrêtés à la suite de nombreux essais. Ce n'est pas ici le lieu d'indiquer les raisons qui nous ont guidés en adoptant ce mode de description, ni d'exposer en détail les méthodes que nous avons appliquées d'une manière constante et systématique pour la détermination des sédiments pélagiques. Nous les exposerons dans l'introduction de notre Rapport, nous nous bornons à expliquer le sens des termes et des abréviations que nous avons employés.

La description commence par indiquer la nature lithologique du dépôt (*argile rouge, boue bleuâtre, vase à globigérines*, etc.), ensuite vient la détermination des caractères macroscopiques du dépôt.

Dans tous les cas où nous avons cru important de faire une analyse complète du sédiment, les résultats en sont consignés; mais comme il était impossible de recourir toujours à ce mode d'investigation, nous avons dû nous borner le plus souvent à déterminer quantitativement le carbonate de chaux. On a fait généralement cette évaluation en déterminant la quantité d'acide carbonique d'un gramme de substance séchée, qu'on attaquait à froid par l'acide chlorhydrique dilué. Mais comme, outre le carbonate de chaux, les sédiments contiennent souvent des carbonates de magnésium et de fer, le résultat obtenu en calculant l'acide carbonique entièrement lié à CaO n'est pas parfaitement exact. Cependant, puisque ces carbonates de magnésium et de fer sont d'ordinaire représentés par de petites quantités, les résultats que nous obtenons ainsi paraissent suffisamment exacts pour notre but. En effet, grâce au triage des matériaux pendant qu'on les recueille et durant leur transport, jamais, peut-on dire, deux échantillons de la même station n'ont donné la même teneur. Le chiffre qui suit les mots *carbonate de calcium* indique la teneur en CaCO₃, nous donnons ensuite la détermination générale des principaux organismes calcaires représentés dans le sédiment.

La partie insoluble dans l'acide chlorhydrique, après la détermination de l'acide carbonique, est désignée dans nos descriptions sous le nom de *résidu*. Le chiffre qui accompagne ce mot indique la teneur des matières insolubles du sédiment, il est suivi des indications relatives à sa coloration et à ses principales propriétés physiques. Ce résidu est lavé ensuite et soumis à des décantations qui permettent de diviser les éléments constitutifs suivant leur densité. D'après cette méthode, le résidu est séparé en trois groupes : 1° minéraux, 2° organismes siliceux, 3° matières amorphes.

1° *Minéraux*. — Le chiffre placé entre parenthèses indique la teneur en particules minérales et en fragments de roches. Il nous est donné par une approximation dont nous indiquerons la base dans notre Rapport. Vu l'importance de la détermination de la dimension du grain des minéraux qui constituent le dépôt, nous indiquons leur diamètre moyen (*Di. m.*) en millimètres. Nous notons ensuite la forme des grains : s'ils sont arrondis ou angulaires, etc., et nous énumérons les espèces minérales et les roches. Dans cette énumération les minéraux sont classés en raison de l'importance du rôle qu'ils jouent dans le sédiment. Les déterminations spécifiques ont été faites au moyen du microscope en lumière polarisée parallèle ou convergente.

2° *Organismes siliceux*. — Le chiffre entre parenthèses indique la teneur en organismes siliceux, cette évaluation approximative s'obtient comme pour les minéraux. Les restes d'organismes siliceux et leurs fragments sont étudiés au microscope et déterminés d'une manière générale. Nous avons aussi placé sous la même rubrique les moules glauconitiques de foraminifères et d'autres organismes calcaires.

3° *Matières amorphes*. — Nous désignons sous ce nom les particules qui, restant en suspension, passent lors de la première décantation. Elles n'ont pas plus de 0^{mm},05 de diamètre. Nous n'avons pas pu grouper ces matières sous la rubrique *minéraux*, car, à cause de leur nature fragmentaire et de leurs dimensions infinitésimales, il n'est pas possible de les déterminer spécifiquement. Nous constatons toujours que les *matières amorphes* sont en quantité plus considérable à mesure que les caractères de l'argile sont mieux prononcés dans le sédiment et, à ce point de vue, cette subdivision du *résidu* a sa raison d'être. Nous désignons souvent ces particules amorphes et légères sous le nom de matière argileuse; toutefois elles renferment, en même temps que cette substance, des fragments indéterminables de minéraux et de roches. Le chiffre entre parenthèses et qui suit la rubrique *matières amorphes* s'obtient de la même manière que pour les minéraux et les organismes siliceux.

Ces quelques mots suffiront pour faire comprendre la marche de nos descriptions; comme nous l'avons indiqué plus haut, nous entrerons dans des détails plus complets à ce sujet dans notre Rapport. Disons encore que, dans la majorité des cas, nous avons fait solidifier et tailler les sédiments en lames minces pour l'examen microscopique. Chacune de nos descriptions est suivie de notes sur le dragage et le sondage, sur les organismes recueillis; nous y discutons aussi les résultats des analyses quand le sédiment a été soumis à ce mode de recherche, comme c'est le cas pour chacune des variétés de type.

SÉDIMENTS DE MER PROFONDE.

Nous abordons maintenant la description des différents types de sédiments que nos études nous permettent de distinguer dans les dépôts actuels de mer profonde. Nous parlerons d'abord de ceux qui se forment dans la zone littorale d'eau profonde et dans les mers fermées, nous indiquerons ensuite ceux qui s'étalent dans les régions abyssales des grands océans. Nous n'avons pas à nous

occuper ici des formations qui se déposent à petite distance des côtes dans les eaux basses, et que l'on connaissait parfaitement avant l'exploration des mers profondes.

L'examen des matériaux recueillis par le *Challenger* et par les expéditions mentionnées plus haut nous permet d'établir les faits suivants relativement aux dépôts littoraux d'eau profonde :

1° Dans les zones d'eau profonde autour des continents et des îles, à l'exception de celles qui sont d'origine volcanique ou corallienne, les sédiments sont essentiellement composés d'un mélange de matières sableuses et amorphes; ils renferment quelques rares débris d'organismes de surface. Nous donnons aux dépôts de cette nature le nom de *boues* et nous les groupons suivant leur couleur. On les distingue sous le nom de *boue rougeâtre, bleuâtre et verdâtre*;

2° Autour des îles volcaniques, les sédiments sont principalement formés de particules minérales dérivées de la désintégration des roches éruptives. Nous les désignons, d'après la grosseur du grain, sous les noms de *sables ou de cendres volcaniques*;

3° Près des îles coralliennes et le long des côtes bordées de récifs frangeants, les dépôts sont calcaireux; ils renferment principalement les débris des bancs voisins auxquels viennent s'ajouter en grand nombre les coquilles et les squelettes d'organismes pélagiques et d'animaux qui vivent sur le fond. Nous les désignons, suivant les cas, sous les noms de *sable et boue corallienne, sable et boue de corallines*.

On peut résumer de la manière suivante les caractères de chacun des dépôts que nous venons d'énumérer.

La *boue bleuâtre* est le dépôt qui s'étale sur l'aire la plus grande autour des continents et des îles continentales. Il recouvre aussi le fond des mers fermées ou partiellement fermées. Cette boue est caractérisée par une couleur ardoise; dans le plus grand nombre de cas, la couche supérieure est de coloration rougeâtre. Le sédiment doit sa teinte à des matières organiques en décomposition; il dégage souvent une odeur d'hydrogène sulfuré, lorsque la boue bleuâtre est séchée elle prend une couleur grisâtre; elle ne possède jamais la plasticité ni la compacité des argiles. Elle est finement granulaire et peut contenir dans certains cas exceptionnels des fragments de roches de 2 centimètres de diamètre; généralement les minéraux, qui sont presque tous terrigènes et que l'on trouve mêlés avec la matière boueuse, ont un diamètre maximum de 0^{mm},5. Parmi les espèces minérales, les particules de quartz géné-

ralement arrondies jouent le rôle principal; viennent ensuite le mica, le feldspath, l'augite, la hornblende et toutes les espèces provenant de désintégration des terres voisines ou des régions traversées par les fleuves qui se jettent dans la mer aux points où ces boues ont été recueillies. Ces minéraux forment la partie essentielle et la plus caractéristique des boues bleuâtres et leur teneur s'élève quelquefois à 80 %. La glauconie, toujours présente dans ce sédiment, n'y est pourtant représentée que par quelques grains. Dans certains cas on n'y trouve pas d'organismes calcareux; dans d'autres ils forment presque 50 % de la masse; mais on ne constate cette grande abondance de restes calcareux que dans les sondages et les dragages de boue bleuâtre à des distances assez grandes des côtes et dans les profondeurs moyennes. Ces fragments calcaires proviennent de foraminifères pélagiques et de grands fonds, de mollusques, de polyzoaires, de serpules, d'échinodermes, d'alcyonaires, de coraux, etc. Souvent on observe des frustules de diatomées et des squelettes de radiolaires. On peut dire d'une manière générale qu'à mesure qu'on approche des côtes les organismes pélagiques disparaissent, tandis que dans les dragages plus au large la dimension des grains de minéraux s'atténue et les restes d'organismes côtiers sont remplacés par ceux de la faune pélagique, jusqu'au moment où le dépôt littoral d'eau profonde passe à un sédiment pélagique proprement dit. Dans les régions de la mer, à grande distance des côtes, où les glaces flottantes viennent apporter des matières terrigènes, la couleur de cette boue tend à passer à une teinte grisâtre; le caractère propre du sédiment est alors modifié par la présence de matières apportées par les banquises et le quartz prédomine.

Boues et sables verdâtres. — Envisagés au point de vue de leur origine, de leur composition et de leur distribution le long des côtes des continents, les boues et sables verts présentent de grandes analogies avec les boues bleuâtres. Ils sont formés de matières argileuses et de particules minérales de même dimension et de même nature que celles des boues que nous venons de décrire. Leur caractère principal est dû à la présence d'une grande quantité de grains glauconitiques. Souvent la glauconie est en granules isolés, quelquefois cimentés par une matière argileuse brunâtre qui renferme en même temps des particules de quartz, de feldspath, du phosphate de chaux et d'autres minéraux plus ou moins altérés. Dans ces boues vertes les coquilles de foraminifères, des fragments d'échinodermes sont souvent remplis de matière glauconitique

et on obtient de magnifiques moules de ces organismes lorsqu'on traite ce sédiment par un acide dilué. Dans certains cas on trouve assez bien d'organismes à enveloppe calcaire, dans d'autres, les diatomées et les radiolaires sont très abondants. Lorsque ces boues sont sèches, elles ont un aspect terreux, leur couleur est alors gris-verdâtre; souvent elles dégagent une odeur d'hydrogène sulfuré. Quelquefois la coloration verte paraît due à des matières organiques, probablement d'origine végétale, ou à la réduction du fer à l'état de protoxyde sous l'influence des substances animales ou végétales. Les *sables verts* ne diffèrent des *boues vertes* que par ce que les matières argileuses et amorphes y sont moins abondantes que dans les dernières; la glauconie est plus fréquente dans les sables verts et c'est ce minéral qui leur donne la teinte caractéristique.

Boues rougeâtres. — Dans certaines régions, par exemple sur les côtes du Brésil, les sédiments littoraux de zone profonde diffèrent des boues bleuâtres par la présence d'une grande quantité de matière ocreuse apportée par les fleuves et déposée le long des côtes. Ces particules ferrugineuses mêlées à la substance argileuse donnent au dépôt une teinte rouge-jaunâtre. Ces sédiments, riches en matière limoniteuse, ne paraissent pas contenir de glauconie et renferment relativement peu d'organismes siliceux.

Boues et sables volcaniques. — Les boues et sables qui se déposent autour des îles volcaniques sont noir ou noir-grisâtre; ces sédiments deviennent rarement cohérents par la dessiccation. Les particules minérales sont généralement fragmentaires, elles sont constituées de lapilli des roches volcaniques modernes des séries acide et basique; elles sont vitreuses ou cristallines et offrent d'ordinaire des traces d'altération plus ou moins profonde. Souvent les minéraux sont complètement isolés, souvent ils sont entièrement revêtus d'une matière vitreuse; on distingue parmi les espèces les plus communes de ces dépôts: les plagioclases, la sanidine, l'amphibole, le pyroxène, la biotite, le périclase et le fer magnétique. La dimension des particules diminue en raison de l'écartement des côtes; le diamètre moyen des grains est d'environ $0^{\text{mm}},5$. On ne constate pas la glauconie dans ces boues et ces sables volcaniques, de même le quartz peut y être considéré comme très rare ou absent. Les fragments de coquilles et de roches sont souvent recouverts d'enduits de manganèse. Dans certains cas ce sédiment prend une teinte moins foncée, il renferme alors une grande quantité de coquilles calcareuses; on y observe d'habitude des restes de diatomées et de radiolaires.

Boues coralliennes. — Ces boues contiennent fréquemment près de 95 % de carbonate de chaux, dû à la présence de fragments de polypiers, d'algues calcaires, de foraminifères, de serpules, de mollusques et des restes d'autres organismes à enveloppe calcareuse.

On y observe toujours une grande quantité de matière crayeuse amorphe, qui donne une certaine plasticité au dépôt. Les particules qui le forment sont de dimensions variables suivant la distance des récifs; leur diamètre moyen est de 1 à 2 millimètres; mais souvent on drague avec la boue de grands fragments de polypiers ou des blocs de coraux cimentés; les particules minérales sont blanches ou rougeâtres. Les restes d'organismes siliceux ne forment jamais plus de 2 ou 3 % de la masse d'une boue corallienne type. Le *résidu* de l'attaque à l'acide chlorhydrique est composé d'une petite quantité de matière argileuse, avec quelques éclats de feldspath et d'autres minéraux volcaniques. Mais près des barrières et des récifs frangeants, le long des terres, on drague les espèces minérales et les fragments de roches les plus variés. Dans la zone de dépôt autour des îles coralliennes, lorsque la profondeur descend sous 1,000 brasses, les débris des récifs tendent à diminuer et les restes d'organismes pélagiques augmentent à proportion; le sédiment devient plus argileux; il revêt une teinte rougeâtre ou rosée et passe graduellement à la vase à globigérines ou à l'argile rouge. Les *sables coralliens* renferment moins de matière amorphe que les boues du même nom, mais pour le reste ils leur sont analogues. Ces sables se trouvent d'habitude plus près des récifs et dans des eaux moins profondes que les boues, excepté dans l'intérieur des lagunes. En certaines régions les restes d'algues calcareuses dominant dans le sédiment; dans ce cas nous nous servons du terme de *boue à corallines* pour désigner le dépôt.

Nous venons de jeter un coup d'œil sur les sédiments qui se forment dans la zone littorale d'eau profonde, où les débris des terres jouent le rôle principal dans la formation des boues et des sables. Si nous avançons au large à une distance moyenne de 200 milles des côtes, on constate que les sédiments sont caractérisés par la présence d'une grande quantité de matières volcaniques incohérentes plus ou moins décomposées et par une grande abondance de coquilles et de squelettes d'organismes pélagiques microscopiques qui sont tombés de la surface sur le fond de la mer. Ces sédiments, qui constituent à proprement parler les dépôts de mer profonde, peuvent être divisés en deux catégories suivant

que l'élément organique ou inorganique prédomine. Nous nous occuperons d'abord des vases organiques.

Vase à Globigérines. — Nous désignons sous ce nom les sédiments pélagiques renfermant plus de 40 % de carbonate de chaux, dû à la présence de coquilles de foraminifères pélagiques, appartenant aux genres : *Globigerina*, *Orbulina*, *Pulvinulina*, *Pullenia*, *Sphaerodina*, etc. Cette vase peut contenir jusqu'à 95 % de carbonate de calcium. La couleur est blanc-laiteux, jaunâtre, brunâtre ou rosâtre, la teinte dépend surtout de l'abondance plus ou moins grande d'oxydes de fer et de manganèse. Ce dépôt est finement granuleux; dans les régions tropicales certaines coquilles de foraminifères sont assez grandes pour qu'on puisse les distinguer à l'œil nu; séchée, cette vase est pulvérulente. On constate qu'elle renferme, outre le carbonate de chaux, du phosphate et du sulfate de chaux, du carbonate de magnésic et de fer, de l'oxyde de manganèse et de fer et des matières argileuses. Le *résidu* est de teinte brunâtre; on y observe presque toujours des lapilli, de la ponce ou des fragments vitreux compactes brunâtres, souvent décomposés en palagonite; dans certains cas ces matières volcaniques sont très abondantes. Les particules minérales, généralement angulaires, dépassent rarement 0^{mm},08 de diamètre; parmi les plus fréquentes, signalons les feldspaths plagioclases et monoclinique, l'augite, le périclote, la hornblende et la magnétite. Les grains de quartz, que l'on trouve assez rarement, sont de petites dimensions, présentant la forme arrondie que l'on constate pour les particules de ce minéral entraînées par les vents; ils sont souvent recouverts d'oxyde de fer. On observe exceptionnellement le mica noir, la bronzite, l'actinolite, la chromite, la glauconie et des poussières cosmiques. Jamais, peut-on dire, les organismes à enveloppe siliceuse ne manquent dans cette vase, quelquefois leur teneur peut atteindre 20 %, dans d'autres cas cependant on ne les découvre que par un examen microscopique attentif. Dans certaines régions les frustules de diatomées sont plus abondantes que les squelettes de radiolaires et réciproquement. Les *matières amorphes*, soumises au microscope, se montrent composées de particules hétérogènes où domine la matière argileuse colorée par les oxydes de manganèse et de fer. On y distingue en outre des fragments de minéraux dont le diamètre est inférieur à 0^{mm},05 et presque toujours on peut y déceler des esquilles de ponce de même que des restes de radiolaires et de diatomées quelquefois très abondants.

Vase à Ptéropodes. — Ce sédiment ne diffère de la vase à globigérines que par la présence des restes nombreux d'organismes pélagiques, parmi lesquels se distinguent surtout les coquilles de ptéropodes et d'hétéropodes, tels que *Diacria*, *Atlanta*, *Styliola*, *Carinaria*, etc. On y constate aussi un plus grand nombre de coquilles de foraminifères jeunes et d'espèces plus délicates que celles de la vase à globigérines. Il est nécessaire de relever ici que par le terme *vase à ptéropodes* on ne prétend pas indiquer que le sédiment est composé essentiellement de coquilles de ces mollusques; mais comme la présence de ces débris d'organismes est en relation intime avec la distribution géographique et bathymétrique des sédiments, nous avons cru utile de désigner par un nom spécial la vase pélagique où les ptéropodes sont abondants et caractéristiques. Remarquons en outre qu'il existe une différence très marquée entre une vase à globigérines ou à ptéropodes, suivant qu'elle provient de points plus ou moins rapprochés des côtes. Cette différence porte à la fois sur les particules minérales et sur les débris organiques.

Vase à Diatomées. — Cette vase est couleur jaune-paille peu foncée, elle est formée essentiellement par l'accumulation de frustules de diatomées. Séchée, elle présente l'aspect d'une farine siliceuse blanc-sale, douce au toucher et prenant l'impression des doigts, elle renferme des particules anguleuses un peu plus grandes que l'on reconnaît au toucher. Ce sédiment renferme en moyenne 25 % de carbonate de chaux, représenté par des petites coquilles de globigérines, des fragments d'échinodermes et d'autres organismes. Le *résidu* est blanchâtre, légèrement plastique; souvent les particules minérales sont abondantes: quelquefois ce sont des fragments volcaniques, mais d'ordinaire ce résidu est le produit de la désagrégation des roches continentales transportées par les glaces flottantes. Les *matières amorphes* ne sont autre chose que des débris minuscules de diatomées associés à une substance argileuse. Pour ce sédiment nous évaluons à 50 % la teneur en frustules de diatomées et en débris d'autres organismes siliceux.

Vase à Radiolaires. — Nous avons indiqué, en parlant de la vase à globigérines, que les radiolaires sont, très fréquemment, représentés dans les sédiments marins. Dans certaines régions ils prennent une part considérable à la formation de la vase à globigérines; ils abondent dans la vase à diatomées; on les trouve

aussi dans les dépôts terrigènes des eaux de la zone littorale profonde. Dans les parties centrales du Pacifique, on observe que les squelettes de ces animaux forment l'élément essentiel d'un sédiment particulier, que nous désignons sous le nom de vase à radiolaires. La couleur de ce dépôt est rouge ou brun foncé; cette coloration est due à la présence des oxydes de fer et de manganèse. Les particules minérales sont surtout des fragments de ponce, des lapilli et des minéraux volcaniques, qui atteignent rarement 0^{mm},07 de diamètre. Certains dragages de vase à radiolaires ne renferment pas de traces de carbonate de chaux; mais quelquefois l'analyse en décèle jusqu'à 20 % provenant des coquilles de foraminifères pélagiques. Les particules argileuses et les minéraux de cette vase sont les mêmes que ceux que l'on trouve dans l'argile rouge dont nous allons parler.

Argile rouge. — De tous les sédiments marins l'argile rouge est celui qui s'étend sur les aires les plus vastes dans les océans modernes. On peut dire qu'il se trouve étalé sur toute l'étendue des régions abyssales des bassins océaniques; car le *résidu* des dépôts organiques que nous avons décrits sous les noms de vase à globigérines, à ptéropodes, à radiolaires et à diatomées, n'est autre chose que l'argile rouge. Cependant ce sédiment ne se montre avec ses caractères propres qu'aux seuls points où les minéraux terrigènes et les organismes siliceux et calcaires ne jouent pas un rôle prédominant. C'est dans le centre de l'Océan Pacifique qu'on peut l'observer avec ses caractères les mieux prononcés. Comme tous les autres dépôts pélagiques, l'argile rouge passe latéralement aux sédiments qui la bordent. Ces matières argileuses sont colorées en brun plus ou moins foncé par les oxydes de fer et de manganèse. Dans les échantillons types on ne peut distinguer à l'œil nu aucun élément minéralogique : les grains sont extrêmement fins et de dimension uniforme; ils dépassent rarement 0^{mm},05 de diamètre. Cette argile est plastique, grasse au toucher; séchée elle se prend en masse cohérente résistant au choc; elle possède la strie ou la raclure brillante caractéristique de cette matière; elle se délite dans l'eau. Les propriétés pyrognostiques nous montrent cependant que nous n'avons pas affaire à une argile pure : elle fond assez facilement au chalumeau en un globe noir magnétique. Nous avons compris aussi sous le nom d'argile rouge, des sédiments où les caractères de l'argile ne sont pas toujours nettement prononcés, mais dans lesquels nous n'observons pas de restes organiques calcaires ou de

particules minérales semblables à celles des dépôts qui bordent les côtes des continents ou qui s'étalent sur le fond des mers intérieures.

Dans certains cas, le sédiment que nous désignons sous le nom d'argile rouge est formé de particules microscopiques de ponce et d'autres produits volcaniques, qui ne sont pas encore entièrement transformés en matières argileuses. Si l'on calcule les analyses d'argile rouge, on voit que le silicate d'alumine, répondant à la formule $2\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{H}_2\text{O}$, ne constitue qu'une partie relativement faible du sédiment. Ce calcul indique toujours un excès de silice libre, que nous attribuons principalement à la présence de débris organiques. On voit au microscope que l'argile rouge est formée de matière argileuse, de particules minérales très petites et de fragments d'organismes siliceux; en un mot, elle possède identiquement la même composition que le résidu des vases organiques. Les particules minérales de ce sédiment sont, pour la majeure partie, d'origine volcanique, excepté dans le cas où des matières continentales apportées par les glaces flottantes ou des sables des déserts entraînés par les vents sont venus se mêler à la masse argileuse. Ces minéraux volcaniques sont ceux des roches éruptives récentes; nous avons énuméré ces espèces en décrivant les boues et les sables volcaniques. On constate une certaine abondance de matières vitreuses, basiques et acides, dans les régions où l'argile rouge prend un grand développement; nous montrerons tout à l'heure que les produits de décomposition les plus remarquables que nous rencontrons dans les aires où domine ce dépôt, sont accompagnés de roches pyroxéniques récentes. On trouve presque toujours avec l'argile rouge des concrétions et des particules microscopiques formées par les oxydes de fer et de manganèse; ces matières colorent le sédiment.

Dans les échantillons types d'argile rouge, nous découvrons des zéolithes sous la forme de cristaux ou de sphérules cristallins; on y observe en outre des globules métalliques et silicatés auxquels nous attribuons une origine cosmique. Les organismes à test calcaire sont rarement représentés, ils ne sont pas caractéristiques de l'argile rouge. Dans certains cas on y constate des restes de foraminifères pélagiques; on remarque aussi qu'ils sont plus nombreuses à la partie supérieure du dépôt d'argile. D'un autre côté, les frustules de diatomées, les squelettes de radiolaires et les spicules de spongiaires y sont fréquents et souvent même abondants. Des caisses tympaniques et des restes d'ossements de baleines, des

dents de squales abondent quelquefois dans l'argile rouge qui se dépose loin des côtes. Ces débris de vertébrés sont souvent recouverts d'un enduit épais d'oxyde de fer et de manganèse. Ces ossements et ces dents ont été rarement dragués dans les régions où s'étalent les vases organiques, et plus rarement encore les a-t-on trouvés dans la zone où s'accumulent les sédiments terrigènes.

Lorsqu'on décante l'argile rouge, les particules en suspension, étudiées à un grossissement de 450 diamètres, se montrent composées d'une matière amorphe, de fragments de minéraux, de restes d'organismes à enveloppe siliceuse et de matières pigmentaires. Ce que nous désignons sous le nom de *matières amorphes* est à proprement parler l'argile; ses caractères sont extrêmement vagues : c'est une substance d'aspect gélatineux, sans contours définis, incolore, parfaitement isotrope; elle forme la base dans laquelle sont empâtées des particules extrêmement petites, d'origine minérale ou organique. Comme ces caractères sont peu tranchés, il est difficile d'évaluer, même d'une manière approximative, la quantité d'argile d'un sédiment; mais à mesure que le dépôt offre les propriétés plus nettes de cette substance, on observe que cette matière amorphe augmente. Nous sommes portés à penser qu'il n'en faut qu'une quantité peu considérable pour donner à un sédiment les caractères de l'argile.

Ce qui prédomine, dans cette substance argileuse amorphe, ce sont des fragments irréguliers de minéraux volcaniques, des particules microscopiques de roches vitreuses et des restes d'organismes siliceux. Ces matières, associées à l'argile, forment environ 50 % de la masse; elles voilent, par leur abondance, les caractères de la substance argileuse qui les empâte. D'ordinaire, ces particules minérales et siliceuses ont environ $0^{\text{mm}},01$ de diamètre; mais elles peuvent descendre à des proportions beaucoup plus petites: il devient impossible alors de les rattacher à une espèce déterminée à cause de leurs petites dimensions: les réactions optiques sont insensibles, les contours sont irréguliers, la coloration propre du minéral n'apparaît plus. Tout ce que l'on peut présumer sur leur nature, c'est que les fragments microscopiques, dont il est ici question, appartiennent très probablement aux mêmes espèces que les minéraux déterminables, tels que les feldspaths, la hornblende, la magnétite, etc., que l'on trouve avec des dimensions plus grandes dans les mêmes sédiments. Grâce à leur structure spéciale les esquilles de ponces et les fragments d'organismes siliceux peuvent être déter-

minés avec certitude, alors même que leurs proportions descendraient sous la limite à laquelle il serait difficile de spécifier les espèces minérales.

On constate, au microscope, que les substances colorantes de l'argile rouge sont les hydrates de fer et de manganèse. Le pigment limoniteux est uniformément réparti par toute la masse ; quelquefois cependant il est comme localisé en certains points ; la matière argileuse y affecte une teinte brunâtre plus foncée, mais elle diminue graduellement et passe à la teinte uniforme de la masse entourante. La coloration donnée par le manganèse est produite par la présence de rondelles brunâtres de moins de 0^{mm},01 de diamètre ; traitées sous le microscope par l'acide chlorhydrique, ces particules de manganèse se dissolvent avec traînée noire et dégagement de chlore. Ces concrétions microscopiques sont probablement un mélange des oxydes de fer et de manganèse analogue aux nodules manganésifères que l'on découvre en grande abondance sur les aires à argile rouge et que nous décrirons d'une manière détaillée dans notre Rapport sur les sédiments des mers profondes.

Nous pouvons grouper de la manière suivante les sédiments marins dont nous venons de voir la nature et les caractères distinctifs :

Sédiments terrigènes	{	Boue bleuâtre,	} Ces dépôts se forment dans	
		Boue et sable verts,		les mers intérieures
		Boue rougeâtre,		et dans les zones littorales:
		Boue et sable coralliens,		} autour des îles océaniques
		Boue et sable à corallines,		
Boue et sable volcaniques,				
Sédiments pélagiques	{	Argile rouge,	} dans les régions abyssales	
		Vase à Globigérines,		des bassins océaniques.
		Vase à Ptéropodes,		
		Vase à Diatomées,		
Vase à Radiolaires,				

DISTRIBUTION DES SÉDIMENTS PÉLAGIQUES ET DES ZONES
LITTORALES PROFONDES.

Nous avons traité jusqu'ici presque exclusivement de la nature lithologique des sédiments, envisageant à ce même point de vue les dépôts organiques formés par l'accumulation des coquilles et des squelettes d'animaux et de plantes. En partant de la composition, nous avons pu les grouper, comme le montre le tableau qui précède. Nous allons indiquer maintenant leur répartition géographique et bathymétrique, et les relations qui existent entre leur composition minéralogique ou organique et les régions océaniques où ils sont formés.

Si l'on considère ces dépôts au point de vue de la distribution géographique, on constate que ceux désignés sous les noms de *boues* et de *sables* occupent des profondeurs variables à des distances assez rapprochées des côtes, tandis que les *vases* organiques et l'*argile rouge* sont étalées loin des continents, dans les régions profondes de l'Océan.

Sans nous occuper ici des sables coralliens et volcaniques, qui forment une ceinture plus ou moins large autour des îles océaniques, nous constatons que les boues bleuâtres, les boues et sables verts, les boues rougeâtres ainsi que les formations côtières sont déposés dans une zone qui borde les continents et dans les mers fermées. La présence de matériaux provenant des terres est le caractère distinctif de ces sédiments. Les boues bleuâtres se retrouvent dans les régions profondes de la zone qui s'étend autour des grandes terres; on les observe aussi près de l'embouchure des fleuves. Les boues rougeâtres ne diffèrent pas essentiellement des boues bleuâtres; leur coloration n'est due qu'à une plus grande abondance de fer à l'état de limonite; on les trouve dans les mêmes conditions que celles-là. En général, on constate les boues et sables verts aux points de la côte où les matières détritiques apportées par les fleuves ne s'accumulent pas rapidement, par exemple au banc de Agulhas, sur les côtes d'Espagne, d'Australie et en différents points sur les côtes de l'Amérique.

Les sédiments terrigènes, en comprenant sous ce terme toutes les formations cotières et celles des zones littorales d'eau profonde, occupent la région s'étendant depuis la ligne de haute marée jusqu'à 4 milles de profondeur environ; la largeur de cette zone varie entre

60 et 300 milles. Nous considérons comme devant se rattacher à cette même région des dépôts terrigènes toutes les mers intérieures : la mer du Nord et de Norvège, la Méditerranée, la mer Rouge, les mers de Chine et du Japon, la mer des Antilles, etc. L'aire occupée par ces sédiments présente les conditions les plus variées au point de vue de la lumière, de la température, du mouvement des eaux et des phénomènes biologiques. Pour les eaux de la surface, la température varie entre 26° C. sous les tropiques et -2° C. dans les régions polaires. Depuis la surface jusqu'aux zones à eau glacée du fond, on constate dans les tropiques une stratification graduelle de la température. Les organismes abondent près des côtes ; les animaux sont relativement nombreux jusqu'aux limites extrêmes de la zone des dépôts terrigènes. Le poids spécifique de l'eau de mer y montre de grandes variations : dans certains cas, il s'abaisse par l'apport de l'eau douce des fleuves, dans d'autres il s'élève par la grande évaporation à laquelle les eaux sont soumises : ces variations de la densité de l'eau ont une influence marquée sur la faune et la flore. C'est dans les mêmes aires que les vagues, les marées et les courants exercent le plus puissamment leur action ; dans certains cas, elle peut y être constatée jusqu'à une profondeur de 300 brasses. La limite de cette région est nettement définie sur les terres par la ligne des côtes ; mais elle est sans cesse déplacée par l'action de la vague, par les soulèvements et les abaissements. Vers la haute mer, la limite est moins bien tracée : cette zone des dépôts terrigènes passe insensiblement à la région abyssale, qui commence aux points où les particules minérales dérivées des terres font place aux vases pélagiques et à l'argile rouge.

Dans les régions océaniques abyssales on constate des conditions bien différentes de celles que nous venons d'indiquer pour les régions à dépôts terrigènes. Ces aires pélagiques sont de vastes plaines ondulées s'étalant à une profondeur de 2 à 5 milles sous le niveau de la mer, et dont la profondeur moyenne est d'environ 3 milles. Les accidents de terrain qui rompent l'uniformité de ces grandes plaines sous-marines, sont souvent des pics élevés formés de matières éruptives. Les rayons du soleil ne pénètrent jamais ces régions profondes et froides : la température n'y varie qu'entre les limites étroites de $-0^{\circ},5$ C. à 3° C. Tout semble indiquer que pour chaque point elle est constante durant toute l'année. Les plantes n'y vivent pas, et quoiqu'on y ait découvert des animaux

appartenant à chacun des principaux types, on n'y a pas signalé une grande variété de formes ni une grande abondance d'individus. Les modifications de tout genre y sont extrêmement peu prononcées et ne s'y font sentir qu'avec une grande lenteur. Nous allons indiquer la distribution des sédiments qui se forment dans ces eaux profondes.

Dans les zones tropicales et tempérées des grands océans, qui comprennent environ 110° de latitude entre les deux zones polaires, à des profondeurs où l'action de la vague est nulle, et en des points où les matériaux terrigènes ne peuvent être amenés par les eaux, on constate qu'il se forme de vastes accumulations de globigérines et d'autres foraminifères pélagiques, de coccolithes, de rhabdolithes, de coquilles de mollusques pélagiques et de restes d'autres mollusques. Ces dépôts pourraient peut être se désigner sous le nom de « sédiments des profondeurs moyennes et des zones chaudes ». Ils diminuent et tendent à disparaître, lorsqu'on s'avance vers les pôles. Ce fait est évidemment en rapport avec la température des eaux de la surface; il nous montre que ces foraminifères pélagiques vivent dans les couches superficielles, et qu'après leur mort ils tombent au fond à l'état de cadavre. La vase à globigérines ne se retrouve ni dans les mers fermées ni sous les latitudes polaires. Dans les mers polaires antarctiques on n'a pas constaté ce dépôt au sud du 50° parallèle; dans l'océan Atlantique on le trouve à une latitude plus élevée; mais seulement alors, aux points sur lesquels passent les eaux chaudes du Gulf Stream; aux mêmes latitudes, ce dépôt fait défaut, sous le courant polaire froid qui descend vers le Sud.

On trouve l'explication de ces faits, si l'on admet que la vase à globigérines est formée par les coquilles des organismes de surface, qui réclament comme condition d'existence une température élevée et une mer largement ouverte. Mais s'il en est ainsi, aussi longtemps que les conditions de surface restent les mêmes, les sédiments qui se forment sur le fond doivent rester identiques. Nous montrerons que ce n'est pas ce qui a lieu, et nous serons amenés à tenir compte d'un agent dont l'influence est en relation directe avec la profondeur. On peut considérer comme établi par l'examen des sondages du *Challenger*, que la plus grande partie des organismes calcareux qui forment les vases à globigérines et à ptéropodes, vivent dans les eaux superficielles, et l'on peut admettre aussi comme démontré qu'il existe toujours identité spécifique entre les organismes calcareux que l'on pêche au filet à la surface et

ceux que la drague ou la sonde ramènent des profondeurs sous la verticale des mêmes lieux.

En tenant compte de cette observation, il nous sera permis de mettre en relation les sédiments organiques et ceux dus à l'activité chimique de l'Océan. On a constaté que la vase à globigérines se dépose dans la zone tropicale à des profondeurs qui ne dépassent pas 2,400 brasses. Lorsqu'on explore dans cette même zone le Pacifique et l'Atlantique à des profondeurs de 3,000 brasses, on trouve un dépôt argileux qui ne renferme presque jamais de traces d'organismes calcaireux. Si l'on descend des plateaux sous-marins à des profondeurs qui dépassent 2,250 brasses, la vase à globigérines disparaît graduellement; elle passe à une marne grisâtre et enfin elle est entièrement remplacée par une matière argileuse qui couvre le fond des mers dès que la profondeur de 2,900 brasses est atteinte.

La transition entre les formations calcaires et les dépôts d'argile est presque insensible. On voit d'abord disparaître les coquilles les plus délicates; celles qui sont plus épaisses perdent peu à peu la netteté de leurs contours et paraissent subir une profonde altération; elles revêtent une couleur brunâtre à mesure que l'élément calcaire s'élimine et que le sédiment passe à l'argile rouge qui constitue à proprement parler le dépôt des grands fonds.

Si nous nous rappelons maintenant que les éléments les plus importants des dépôts organiques sont descendus des eaux superficielles, et que les formes de relief du lit de la mer ne peuvent, par elles-mêmes, empêcher les débris de plantes et d'animaux de s'accumuler sur le fond, l'absence de ces restes organiques dans les régions à argile rouge ne peut s'expliquer que par une décomposition, provoquée par une cause que nous chercherons à connaître, après avoir indiqué les conditions dans lesquelles on trouve la vase à *ptéropodes*. La distribution géographique de ce sédiment fournira un nouvel élément pour la solution du problème.

Nous avons dit que la vase à *ptéropodes* est un dépôt organique calcaireux où l'on constate la présence de restes de *ptéropodes* et d'autres mollusques pélagiques. Quoique ces coquilles de mollusques ne soient pas toujours représentées dans ce dépôt de manière à en former la partie principale, il n'en est pas moins vrai que leur présence est en relation directe avec la distribution bathymétrique des sédiments calcaireux; et ce fait justifie la création de ce nouveau terme.

En décrivant la nature de l'élément calcaire qui se dépose sur

les aires pélagiques, on a fait observer que les coquilles de ptéropodes thecosomates, qui vivent partout avec les foraminifères pélagiques dans les eaux superficielles, surtout dans celles des zones tropicales, manquent dans des sédiments pris à une certaine profondeur. Nous venons de voir que le nombre de coquilles de foraminifères diminue graduellement dans les dragages successifs faits sur une déclivité qui descend vers une fosse : mais on remarque en même temps, dans une série de sondages de plus en plus profonds, que, parmi les restes organiques qui constituent les sédiments, les coquilles de ptéropodes sont celles qui disparaissent les premières en raison de la profondeur.

On constate d'abord de la vase à ptéropodes avec restes abondants d'hétéropodes et de ptéropodes; des sondages plus profonds ramènent ensuite la vase à globigérines sans ces coquilles de mollusques, et pour des profondeurs plus grandes encore, on obtient, comme on l'a dit, de l'argile rouge sans organismes à test calcaire. Dans les tropiques, à des profondeurs qui ne dépassent pas 1,400 brasses, on drague la vase à ptéropodes; elle contient des coquilles nombreuses de ces organismes et d'hétéropodes.

On arrive donc à la conclusion que le test calcaire des organismes de surface est éliminé dans les grandes profondeurs. En effet, puisque ces organismes peuplent les eaux superficielles, qui s'étendent au-dessus des grandes dépressions des bassins des mers, il est difficile de comprendre, si l'on n'admet pas une cause déterminant la dissolution du calcaire, que les dépouilles de ces êtres ne se trouvent pas réparties uniformément sur toutes les aires pélagiques. Il y a des raisons de penser que cette élimination du carbonate de chaux est due à l'action de l'acide carbonique dans les couches les plus profondes des eaux océaniques. Les recherches de Buchanan et de Dittmar ont montré que l'acide carbonique existe à l'état libre dans l'eau de mer, et que l'eau des grandes profondeurs contient plus de chaux que celle de la surface. Ce fait est en harmonie avec l'interprétation qui tend à considérer l'acide carbonique comme l'agent qui élimine totalement ou en partie les coquilles des organismes de la surface, lorsqu'elles arrivent sur le fond ou après un séjour plus ou moins prolongé dans ces régions abyssales. On peut encore voir une confirmation de cette interprétation lorsqu'on constate que sous les latitudes élevées, où peu d'organismes vivent dans les eaux superficielles, leurs restes font défaut à des profondeurs moins considérables que dans les zones chaudes où ces êtres sont plus abondants à la surface de la mer.

Il n'est pas impossible que l'eau de mer n'exerce par elle-même une influence sur la dissolution du carbonate de chaux; d'un autre côté, il n'est pas improbable que l'énorme pression, à laquelle l'eau est soumise dans les grandes profondeurs, ne contribue à augmenter son activité chimique. Nous devons attendre, pour nous prononcer sur ces points, que les résultats des recherches entreprises par les savants chargés d'étudier les phénomènes physiques des mers profondes soient publiés. En s'appuyant sur le fait que l'eau de mer est alcaline, on a soulevé des objections contre l'interprétation qui vient d'être émise; mais il ne paraît pas nécessaire de nous arrêter pour montrer que l'alcalinité de l'eau de mer n'ébranle en rien notre manière de voir (1).

Cette interprétation permet aussi de rendre compte de l'abondance plus grande de restes de diatomées et de radiolaires sur les aires à argile rouge que sur celles où se dépose la vase à globigérines. Ces organismes à enveloppe siliceuse vivent à la surface comme les foraminifères pélagiques; mais l'agent qui décompose les coquilles calcaires ne s'attaque pas aussi facilement à la silice, et c'est ainsi que les squelettes, les spicules et les frustules siliceux s'accumulent sur le fond. La distribution bathymétrique de la vase à ptéropodes se comprend à son tour par l'explication que nous avons admise. A première vue, on s'attendrait à voir disparaître les coquilles de globigérines avant celles des ptéropodes, car les enveloppes calcaires de ces foraminifères sont plus petites; mais d'un autre côté elles sont notablement plus épaisses que celles de ces mollusques pélagiques qui, grâce à leur surface, présentent plus de points d'attaque au dissolvant.

Il nous reste à indiquer l'aire occupée par l'argile rouge dans les grands océans. Nous avons vu comment ce dépôt passe latéralement aux vases organiques calcaires, qui occupent les dépressions moyennes des bassins. Les sondages nous montrent que l'argile rouge est le sédiment le plus étendu des mers modernes, il en recouvre le lit des régions profondes, dans le nord et le sud du Pacifique, dans l'Atlantique et dans l'Océan indien; comme nous l'avons dit plus haut, cette matière argileuse se dépose même sur toute la surface des bassins océaniques; mais elle n'apparaît avec ses caractères propres qu'aux points où elle n'est pas voilée par l'abondance des restes organiques siliceux et calcaireux.

Connaissant la distribution géographique de l'argile rouge,

(1) DITTMAR, *Phys. chem. Chall. Exp.* Part I.

demandons-nous quelle est son origine et indiquons sommairement certaines formations minérales et les restes organiques que l'on trouve souvent associés à ce dépôt.

L'origine de ces vastes dépôts d'argile offre un problème du plus haut intérêt : on supposa d'abord que ces sédiments étaient formés de particules microscopiques provenant de la désintégration des roches par les eaux courantes et les vagues; on pensait que ces matières, tenues en suspension, étaient entraînées par les courants dans la haute mer, où elles finissaient par atterrir. Mais on pouvait objecter à cette hypothèse l'uniformité de composition de ce dépôt; on pouvait montrer que les particules minérales, même les plus ténues, qu'on croyait devoir flotter toujours dans les eaux agitées, doivent, grâce aux propriétés de l'eau de mer, être précipitées à une petite distance des côtes. On avait admis aussi que ces dépôts argileux dérivait de la décomposition des coquilles calcaires dont ils constituaient le résidu insoluble; mais les recherches que nous avons faites pour vérifier cette explication ont démontré qu'elle n'était pas admissible. Aujourd'hui tout paraît indiquer que la formation de l'argile est due essentiellement à la décomposition de produits volcaniques incohérents, dont nous avons fait voir la répartition sur toute l'étendue du lit des grandes mers. Ces matériaux volcaniques proviennent de ponces flottantes, de cendres et de sables projetés à de grandes distances par les volcans et entraînés par les courants aériens; on sait d'un autre côté que des lits de lave et de tuff sont étalés sur le fond de l'Océan. Ces roches pyrogènes, riches en silicates alumineux, se décomposent sous l'action chimique de l'eau de mer, et donnent naissance à des matières argileuses suivant des réactions, trop connues pour devoir les rappeler ici et que l'on peut observer aux roches volcaniques qui affleurent sur les terres.

L'examen microscopique des sondages nous a permis d'établir qu'il est toujours possible de retrouver dans la vase argileuse des grandes mers des fragments de ponces, des lapilli, des silicates et d'autres minéraux volcaniques à diverses phases d'altération. Comme nous l'avons montré dans notre travail sur la distribution géographique des matières volcaniques (1), le dépôt le plus vaste des mers actuelles serait dû à la décomposition des produits de

(1) John MURRAY et A. RENARD, *Les caractères microscopiques des cendres volcaniques et des poussières cosmiques* (BULL. MUS. ROY. HIST. NAT. BELG., 1884, t. III, p. 23).

l'activité interne du globe, et le résultat final de l'action chimique de l'eau de mer se traduirait par la formation de cette matière argileuse que l'on trouve partout dans les mers profondes; elle est tantôt voilée par l'abondance des restes organiques siliceux ou calcaireux, et tantôt elle apparaît avec ses caractères propres et associée à des substances minérales qui nous permettent, dans une certaine mesure, d'apprécier la lenteur de la formation de ces dépôts d'argile, et dont la présence corrobore la théorie admise pour expliquer leur origine.

Dans les régions de la mer où l'argile rouge se montre avec son caractère le plus nettement accusé, on peut suivre pas à pas cette transformation des roches volcaniques en matière argileuse. Elle est, peut-on dire, le produit direct de l'altération des roches basiques représentées par des verres volcaniques : tels que la hyalomélane et la tachylite qui en revêtent le fond. Malgré la basse température qui règne sur le lit de l'Océan, ces réactions chimiques y donnent cependant naissance à des minéraux nettement cristallisés et que l'on doit considérer comme l'un des produits les plus remarquables de l'action des eaux marines sur les matières volcaniques en décomposition. Ces cristaux sont des zéolithes, que l'on trouve avec la plus grande abondance dans les aires à argile rouge du centre du Pacifique. Ils sont libres dans l'argile et se présentent sous la forme de cristaux simples, maclés ou groupés en sphérules dont le diamètre dépasse à peine un demi-millimètre. L'examen cristallographique et chimique montre qu'on doit les rapporter à la christianite. On sait la facilité avec laquelle les zéolithes cristallisent dans les vacuoles des roches éruptives qui se décomposent : les cristaux de christianite, que l'on observe en grand nombre dans l'argile du Pacifique, auront été formés de même aux dépens des matières volcaniques répandues sur le lit de cet océan.

En même temps que ces cristaux zéolithiques, nous devons mentionner comme produits secondaires de l'action des eaux marines sur les roches volcaniques, les nodules d'oxyde hydraté de fer et de manganèse. Ces substances sont répandues sur toute la surface du fond des mers; mais c'est moins sur leur universalité dans l'océan qu'il faut attirer l'attention, que sur le fait que les nodules manganésifères ne se trouvent dans tout leur développement que dans les aires à argile rouge. Ceci nous montre bien des relations d'origine, car nous trouvons précisément dans les régions à argile rouge avec nodules de manganèse, des couches de laves pyroxéniques en voie de décomposition : ces laves renferment des silicates à base de

manganèse et de fer, tels que l'augite, la hornblende, le péridot, etc., et des verres basiques facilement altérables qui contiennent tous les éléments de ces minéraux.

Sur les aires où l'action sédimentaire mécanique et organique est pour ainsi dire suspendue, et où tout semble indiquer, comme nous le montrerons plus loin, une extrême lenteur pour la formation des dépôts dans ces eaux profondes et calmes, favorables aux réactions chimiques, ces concrétions ferro-manganésifères se développent autour de centres organiques et inorganiques. Ces concentrations d'oxyde de manganèse et de fer, ordinairement mêlés à de l'argile, présentent des formes et des dimensions très variables. Ces nodules sont communément formés de wad; très rarement cette variété terreuse passe à des variétés plus pures d'oxyde hydraté de manganèse avec cristallisation fibro-radiée. L'interprétation à laquelle nous sommes amenés, pour expliquer la formation des nodules en question, est la même que celle généralement admise pour expliquer la présence d'enduits manganésifères qui recouvrent quelquefois les roches terrestres. Les sels de manganèse et de fer tenus en solution dans l'eau sous l'action de l'acide carbonique, précipités ensuite sous la forme de carbonates de protoxydes de fer et de manganèse, s'oxydent et donnent naissance, dans les régions profondes et calmes de la mer, à ces concrétions de fer et de manganèse plus ou moins mêlés à des matières argileuses. Quoique la répartition de ces nodules nous conduise à admettre qu'ils doivent dériver en grande partie de la décomposition des roches volcaniques, qui recouvrent précisément le fond de la mer aux points où les concrétions abondent, nous croyons aussi cependant que les eaux courantes apportent à leur tour à l'océan les mêmes substances en solution, qui viennent enrichir ainsi les dépôts de manganèse formés aux grandes profondeurs.

Parmi les corps 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 plus résistants du squelette : ce sont des caisses tympaniques de baleine, des rostres de ziphius, des dents de squales. De même que nous avons vu les organismes calcaires éliminés dans les grandes profondeurs, de même aussi nous pouvons constater que, sauf ces parties très résistantes et très massives, tout autre ossement de vertébré fait défaut dans les sédiments pélagiques. Lorsque les caisses tympaniques et les dents de squales servent de centre aux concrétions manganésifères, ils sont enveloppés d'un

enduit qui peut atteindre plusieurs centimètres d'épaisseur; mais on constate aussi que le même dragage ramène souvent des dents de requins et des caisses tympaniques de baleines incrustés d'une couche épaisse de manganèse, tandis que d'autres sont à peine recouvertes d'un léger enduit. Ajoutons encore que quelques-uns de ces restes de vertébrés appartiennent à des espèces éteintes. Nous nous appuierons sur ces faits pour établir les conclusions qui terminent cette notice.

C'est enfin sur les aires à argile rouge que l'on découvre le plus grand nombre de sphérules métalliques et de chondres de bronzite, dont nous avons décrit ailleurs les caractères en exposant les arguments en faveur d'une origine cosmique. Nous nous bornons à rappeler ici ce fait, qui doit servir, comme ceux qui précèdent, à corroborer quelques-unes des conclusions de nos recherches.

On peut résumer de la manière suivante ce que nous venons de dire sur la distribution des dépôts pélagiques :

1° Les sédiments terrigènes, les boues bleuâtres, les boues et sables verdâtres, les sables et les boues volcaniques, les sables et les boues coralliques, sont confinés aux zones de l'océan les plus rapprochées des terres. A l'exception des sables et des boues volcaniques et des sables et des boues coralliques, ces dépôts se forment dans la zone littorale des continents et des îles continentales ou dans les mers intérieures ;

2° Les dépôts de vases organiques et d'argile rouge sont confinés aux régions abyssales des bassins océaniques; dans les zones tropicales et subtropicales, on trouve la vase à ptéropodes à des profondeurs qui ne dépassent pas 1,500 brasses; la vase à globigérines se dépose dans les mêmes zones sur les fonds dont la profondeur est comprise entre 500 et 2,800 brasses; la vase à radiolaires occupe le lit du centre du Pacifique à des profondeurs dépassant 2,500 brasses. Dans les mers du Sud, la vase à diatomées se dépose au Sud du 45° parallèle. L'aire occupée dans les grands océans par l'argile rouge est comprise entre le 45° parallèle au N. et au S.; on y observe ce sédiment dans les dépressions qui atteignent plus de 2,200 brasses.

Malgré tout ce que nos recherches peuvent avoir d'incomplet, les faits que nous venons d'énumérer permettent d'arriver à des conclusions qui présentent certain intérêt au point de vue géologique.

Nous avons montré que les débris arrachés aux continents viennent s'accumuler sur le lit de la mer avant qu'ils puissent atteindre les régions abyssales de l'océan. C'est seulement dans des cas exceptionnels que les matériaux terrigènes les plus ténus peuvent être entraînés à des centaines de milles des côtes. Au lieu des couches formées de cailloux et d'éléments clastiques de dimensions plus ou moins considérables, qui jouent un rôle si important dans l'édification des terres émergées, on trouve sur les grandes aires des bassins océaniques des restes microscopiques d'organismes pélagiques ou des produits d'altération des roches volcaniques. Les éléments caractéristiques que nous découvrons dans les sédiments fluviatiles et côtiers font défaut, à proprement parler, dans les profondeurs très éloignées des côtes : cela est vrai à tel point que dans un grand nombre de sondages du centre du Pacifique, par exemple, nous n'avons pas pu distinguer de particules minérales sur lesquelles l'action mécanique de l'eau aurait laissé son empreinte ; les grains de quartz eux-mêmes y sont tellement rares qu'on peut les considérer comme absents. Il suffit d'indiquer ces faits pour voir apparaître les différences marquées qui séparent les dépôts des régions abyssales de l'Océan, de ceux qui forment habituellement la série normale des terrains géologiques. Les sédiments argileux avec les concrétions de manganèse, les zéolithes, les poussières cosmiques et les restes de vertébrés, dont nous avons indiqué la présence dans l'argile, les vases organiques que nous trouvons étalées sur le lit du centre du Pacifique, de l'Atlantique et de l'Océan Indien, ont-ils leurs analogues dans la série des couches géologiques ? S'il était prouvé que dans ces couches, les sédiments pélagiques, que nous venons de décrire, ne sont pas représentés, il s'ensuivrait que des océans larges et profonds n'auraient pas occupé autrefois les aires continentales ; on pourrait déduire comme corollaire, que les grandes lignes des bassins océaniques et des continents auraient été tracées dès le commencement des âges géologiques. Nous arriverions ainsi à une nouvelle confirmation de l'idée de la permanence des continents.

Sans avancer d'une manière positive que les aires terrestres et celles recouvertes par les eaux des grands bassins océaniques ont eu leurs limites ébauchées dès les débuts des périodes géologiques anciennes, on peut affirmer cependant que l'étude des sédiments pélagiques prouve à l'évidence que les dépressions où ils se déposent sont d'une haute antiquité. La présence de dents de squales, de caisses tympaniques de cétacés, de concrétions de manganèse et

de poussières cosmiques dans les régions à argile, concourent à le prouver. Il n'y a pas de raison de supposer que les parties de l'océan où ces restes de vertébrés se retrouvent avec la plus grande abondance, sont plus fréquentées par les squales et les baleines que d'autres régions où l'on ne constate pas sur le fond ces ossements de cétacés et ces dents de squales. Si l'on se rappelle en outre que ces caisses tympaniques, ces dents de requins et les fragments volcaniques sont souvent incrustés d'une croûte de 2 centimètres de manganèse, tandis que d'autres, provenant des mêmes dragages, ne sont recouverts que d'un mince enduit; si l'on tient compte enfin de ce que certains de ces ossements et de ces dents appartiennent à des espèces éteintes, on peut conclure avec certitude que l'argile des bassins océaniques s'y est accumulée avec une extrême lenteur. Il paraît donc hors de doute que sur ces aires à argile rouge du Pacifique se sont formés des dépôts qui remontent à des périodes bien éloignées des temps actuels.

La haute antiquité de ces formations nous est encore prouvée d'une manière frappante par la présence des poussières cosmiques que nous avons décrites ailleurs (1). Pour que ces substances puissent se déposer avec cette abondance relative dans les régions d'où la drague les ramène, on doit bien admettre que les bassins océaniques sont ouverts depuis de longues périodes.

Les dents de squales, les caisses tympaniques de baleines, les nodules de manganèse, les fragments de roches et de minéraux volcaniques altérés, les zéolithes et les poussières cosmiques se retrouvent avec la plus grande abondance dans l'argile rouge du centre du Pacifique, aux points de la surface du globe les plus éloignés des terres continentales. On les retrouve moins fréquents dans la vase à radiolaires; ils sont rares dans la vase à globigérines, à diatomées et à ptéropodes, et on ne les a dragués que tout à fait exceptionnellement dans les dépôts terrigènes près des côtes. Cependant ces corps doivent se trouver dans tous les dépôts; mais, grâce à la rapidité avec laquelle ils sont recouverts par d'autres matières sédimentaires, on a moins de chance que la drague les ramène. L'abondance plus ou moins grande de dents de squales, de caisses tympaniques de cétacés, de nodules manganésifères et de poussières cosmiques dans un dépôt peut être considérée comme donnant la mesure de la lenteur avec laquelle le sédiment s'est formé.

Les dépôts qui s'accumulent le plus rapidement sont incontestablement

(1) *Loc. cit.*, p. 17.

blement les sédiments terrigènes, puis viennent la vase à ptéropodes et la vase à globigérines; les vases à diatomées et à radio-laires s'accumulent moins vite que les dépôts pélagiques calcaireux; enfin, le sédiment qui se forme avec la plus grande lenteur est l'argile rouge.

En tenant compte de l'ensemble des données que nous possédons aujourd'hui sur la distribution et la nature des sédiments pélagiques, on peut appuyer par de nouvelles preuves certaines lois relatives à la stratigraphie. Ce qui frappe tout d'abord dans les dépôts argileux et organiques formés dans les océans modernes, c'est la grande variété qu'ils nous offrent, alors qu'on s'attendrait à voir les sédiments présenter une parfaite analogie sur ces vastes aires où les conditions physiques paraissent les mêmes. Nous constatons, en outre, que dans les diverses régions de l'océan, les organismes de la surface montrent des différences très caractéristiques, tant au point de vue spécifique que pour le nombre d'individus. On ne peut donc pas tirer un argument trop absolu contre le synchronisme de certaines couches en s'appuyant sur les différences que pourrait présenter la faune. Les observations que nous avons signalées montrent, en outre, que les formations littorales, surtout celles à grains plus ou moins grossiers, n'occupent autour des terres qu'une zone relativement étroite; d'un autre côté, elles permettent de juger avec quelle lenteur ils doivent s'accumuler dans les conditions actuelles. Nous ne pouvons pas constater aujourd'hui de phénomènes qui soient en état de produire ces grandes accumulations de matières détritiques des couches géologiques. On doit donc admettre nécessairement que des mouvements considérables du sol sont nécessaires pour former les couches épaisses de matériaux clastiques que nous montrent les sédiments anciens. Nous constatons d'un autre côté que, dans certaines régions de la mer, il ne se forme pas de dépôt appréciable; on peut déduire de ce fait que dans les terrains sédimentaires l'absence d'une couche dans la série ne doit pas toujours être interprétée comme indiquant une émer-sion ou une érosion. L'examen des sondages confirme d'une manière décisive le fait que les formations arénacées ne se déposent pas dans des mers ouvertes et étendues, mais qu'elles réclament des côtes sujettes à de fréquentes oscillations qui permettent à l'océan d'élargir ou de resserrer ses rivages.

En comparant les terrains des formations géologiques avec les dépôts marins des océans actuels, on n'y découvre pas, croyons-nous, des sédiments identiques à l'argile rouge et aux vases orga-

riques calcaires et siliceuses. Mais, d'un autre côté, on voit, au premier aspect, que les dépôts terrigènes de nos lacs, des mers peu profondes ou fermées et ceux qui s'étalent sur les zones littorales des continents sont des équivalents de la craie, des sables verts, des schistes, des marnes, des sables, des grès, des conglomérats et d'autres formations sédimentaires. Parmi les terrains géologiques, il en est quelques-uns, comme certaines couches tertiaires d'Italie, la terre à radiolaires des Barbades et quelques assises de la craie, qui sembleraient montrer des caractères pélagiques; mais on doit les considérer comme ayant été formés le long de la zone marginale des continents, plutôt que dans des régions profondes et très loin des côtes. Il paraît certain que, durant les périodes géologiques, les fonds de mer près des côtes ou recouverts par des mers fermées et peu profondes furent surtout le théâtre de la formation des puissantes assises sédimentaires. Tout indique aussi que la grande majorité des couches de transport doit avoir été formée dans des aires analogues à celles occupées dans les mers modernes par les dépôts terrigènes; nous pourrions désigner cette zone marginale sous le nom de « aire de transition ». On pourrait évaluer la surface qu'elle occupe à $\frac{2}{3}$ de la surface terrestre.

Durant chacune des périodes géologiques, certaines parties des terres se sont abaissées sous la mer et ont été recouvertes ensuite par les sédiments, tandis que dans d'autres régions les dépôts terrigènes soulevés ont été transformés en surfaces continentales. Ces couches nous offrent, dans les fossiles qu'elles renferment, des renseignements relatifs aux organismes marins de la période où elles se sont déposées. Sur cette aire de transition, nous avons comme un enchaînement des phénomènes biologiques et géologiques.

De tout ce que nous venons de dire, il résulte que le caractère d'un sédiment est déterminé davantage par la distance des côtes à laquelle le dépôt se forme que par la profondeur. Il paraît découler des recherches sur les organismes marins que la même chose peut s'avancer par rapport à la faune, que l'on trouve répartie sur le fond des océans modernes. On constate, en effet, que des dragages peu écartés des côtes continentales, à des profondeurs de 1,000, 2,000, 3,000 brasses, sont plus riches en espèces et en individus que ceux que l'on exécute, aux mêmes profondeurs, à plusieurs centaines de milles au large. On a découvert aussi que, parmi les espèces recueillies par la drague dans les aires abyssales les plus éloignées des continents, le grand nombre montre des caractères

archaïques ou appartient à des groupes qui sont à la fois très anciens et très répandus sur tout le lit des océans actuels : tels sont les hexactinellides, les brachiopodes, les crinoïdes à tige et autres échinodermes, etc.

Comme on l'a déjà rappelé, cette « aire de transition » offre la plus grande variété de conditions physiques et biologiques et durant les périodes anciennes cette zone doit avoir été soumise à des modifications importantes et souvent répétées. Les animaux qui vivent sur cette aire peuvent être considérés comme les descendants profondément modifiés des êtres qui ont vécu dans des régions semblables durant les périodes géologiques écoulées, et dont quelques-uns des ancêtres sont conservés comme fossiles dans les roches sédimentaires. D'un autre côté, un grand nombre d'animaux ramenés par la drague des régions abyssales, sont très probablement les descendants de ceux qui ont vécu autrefois dans des eaux moins profondes et qui se seront retirés dans ces dépressions, afin échapper à la lutte pour l'existence, qui a toujours dû être plus forte dans les eaux de cette ceinture littorale, où la lumière, la chaleur, le mouvement et d'autres circonstances favorables au développement organique peuvent faire sentir leurs effets sur la faune. Les animaux condamnés à émigrer se seront lentement acclimatés aux conditions d'existence de ces eaux profondes et auront colonisé graduellement les régions abyssales de la mer sans subir de grandes modifications, grâce à l'uniformité des conditions que présentent les dépressions océaniques. On peut encore admettre que dans les dépressions qui se formaient non loin des côtes, certaines espèces auront été entraînées graduellement dans des eaux plus profondes, et qu'après s'être accommodées à ces nouvelles conditions d'existence elles auront peuplé les grandes profondeurs. Quelques espèces animales et végétales peuvent avoir émigré ainsi durant chacune des périodes géologiques et l'on pourrait expliquer de cette manière l'origine et la distribution de la vie des mers profondes des océans actuels.
