

## ANNEXE

## A L'ANALYSE DE M. DAUBRÉE

## NOTICE EXPLICATIVE

DE LA

CARTE DES SEDIMENTS DE MER PROFONDE<sup>(1)</sup>

PAR

**John Murray et A.-F. Renard**

Nous comprenons sous le terme de « dépôts ou sédiments de mer profonde » ceux qui se forment à des profondeurs dépassant 100 brasses (183 mètres). On trouvera dans notre Rapport p. 184 les raisons qui ont conduit à prendre cette courbe bathymétrique comme point de départ. Ce sont les sédiments de mer profonde ainsi définis

(1) La carte des sédiments de mer profonde, publiée par la Société belge de Géologie, est la reproduction à peu près intégrale de celle qui a paru dans le Rapport sur les dépôts océaniques recueillis par le *Challenger*. Quoiqu'elle ait été popularisée par la publication qu'en a faite, en Allemagne, la maison Justus Perthes

dont la répartition générale est figurée pour la première fois sur la carte ci-jointe.

Si l'on envisage l'ensemble des dépôts marins actuels, on peut les grouper en deux divisions principales : I. Les *dépôts pélagiques*, qui occupent les régions centrales des grands bassins océaniques et qui sont formés essentiellement des restes d'organismes pélagiques associés aux produits ultimes de la décomposition des roches et des minéraux. II. Les *dépôts terrigènes*, formés près des continents et des îles, qui sont constitués essentiellement par des matériaux apportés par l'action de transport de la mer et provenant de la désintégration des masses terrestres. Le tableau synoptique qui suit, premier essai d'une classification d'ensemble des dépôts marins, présente les relations qui unissent ces divers groupes de sédiments et leurs subdivisions.

dans l'atlas de géographie physique de Berghaus, des géologues nous ont fréquemment exprimé le désir de la posséder, sans devoir recourir à l'achat de ces grandes publications. En la reproduisant ici, il a paru utile d'ajouter à cette carte un texte explicatif; dans ce but, j'ai résumé un des chapitres du mémoire original.

Ce texte comprend une description sommaire des types de sédiments que nous avons distingués. On en a éliminé tous les détails micrographiques et chimiques, ainsi que toutes les considérations théoriques; il présente les faits sur lesquels est établi ce premier essai de cartographie sous-marine. Pour tous les autres détails, nous renvoyons le lecteur au texte même de notre ouvrage, aux tableaux des sondages, aux nombreux diagrammes et coupes des grandes mers, ainsi qu'aux cartes de détail, et aux suppléments comprenant les analyses chimiques des dépôts. Il est nécessaire cependant de donner la marche que nous avons suivie pour l'analyse des sédiments: elle a servi de base à l'ordre adopté dans les descriptions, et ces courtes explications permettront de saisir le sens des termes placés en *italiques* dans le texte.

Les descriptions commencent par l'indication de la nature lithologique du dépôt (*argile rouge, boue bleuâtre, vase à globigérines*, etc.), ensuite vient la détermination des caractères macroscopiques du dépôt.

Le sédiment est traité par l'acide chlorhydrique, la partie soluble est indiquée sous la rubrique  $\text{CaCO}_3$ ; nous donnons ensuite la détermination générale des principaux organismes calcaires représentés dans le sédiment. La partie insoluble dans l'acide chlorhydrique est désignée dans nos descriptions sous le nom de *résidu*. 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<sup>o</sup> *Organismes siliceux*; 2<sup>o</sup> *Minéraux, particules minérales et fragments de roches*; 3<sup>o</sup> *Particules amorphes*. Nous désignons sous ce dernier nom les particules qui, restant en suspension, passent lors de la première décantation; elles n'ont pas plus de 0<sup>mm</sup>,05 de diamètre.

A.-F. RENARD.

(A) Sédiments de mer profonde formés sous plus de 100 brasses.	Argile rouge.	(I) Sédiments pélagiques formés en mer profonde loin des terres.
	Vase à radiolaires.	
	Vase à diatomées.	
	Vase à globigérines.	
	Vase à ptéropodes.	
	Boue bleue.	
	Boue rouge.	
	Boue verte.	
	Boue volcanique.	
	Boue corallienne.	
(B) Sédiments formés entre le niveau de la basse marée et 100 brasses.	Sables, graviers, boues, etc.	(II) Sédiments terrigènes formés dans les eaux littorales profondes et dans les eaux basses près des terres.
	Sables, graviers, boues, etc.	
(C) Sédiments littoraux formés entre la haute et la basse mer.	Sables, graviers, boues, etc.	
	Sables, graviers, boues, etc.	

L'étude des sédiments littoraux et des eaux basses a été abordée depuis longtemps ; nous n'avons pas à nous arrêter sur leurs caractères ; insistons sur les sédiments de mer profonde. Ces sédiments, qui s'étendent depuis la courbe de 100 brasses jusqu'aux plus grandes profondeurs, recouvrent une aire égale à plus de la moitié de la surface terrestre. Les graviers et les sables ne se trouvent ici qu'exceptionnellement : des boues, des vases organiques et de l'argile constituent les sédiments caractéristiques de ces grandes profondeurs : ils montrent sur de vastes étendues une remarquable uniformité. Au large de la courbe de 100 brasses, l'action mécanique de la mer diminue d'intensité, les rayons solaires ne pénètrent pas à cette profondeur, et les végétaux ne peuvent exister aux points où se déposent ces sédiments. Les animaux au contraire se retrouvent partout dans les mers profondes, ils sont plus abondants cependant près des côtes continentales. Sur cette aire profonde, la température est en général inférieure à 4° C.

Les régions qui avoisinent la ligne de 100 brasses sont les seules influencées par le jeu des saisons et par la latitude. Les conditions qui prévalent dans cette partie de l'Océan sont uniformes. L'accumulation des sédiments s'y fait avec lenteur, les particules minérales sont différentes de celles des dépôts littoraux, leurs dimensions sont plus petites. Aux points où les effets de transport ne se font plus que faiblement sentir, on constate la présence de substances formées *in situ* sous l'influence d'actions chimiques, par exemple, la glauconie, les nodules phosphatiques et manganésifères, des zéolithes et d'autres produits de l'altération des minéraux et des roches. A mesure qu'on

s'avance vers les régions plus profondes des bassins océaniques, les sédiments se modifient, les particules minérales dérivant immédiatement des terres émergées sont de moins en moins nombreuses, leurs dimensions diminuent ; en même temps les matières provenant de l'altération chimique des roches et des minéraux deviennent plus abondantes, et, pour les profondeurs moyennes de l'Océan, les débris organiques sont plus nombreux dans les dépôts. Ainsi, on passe insensiblement des sédiments de mer profonde *terrigènes* aux sédiments *pélagiques*, dans la composition desquels les tests des organismes calcaires et siliceux, l'argile et d'autres substances provenant de la décomposition des roches et des particules minérales jouent le rôle principal.

Après ces considérations générales sur les dépôts de mers profondes, voyons quelles sont la nature, la composition et la distribution géographique de chacun des sédiments de mer profonde.

### I. — DÉPÔTS PÉLAGIQUES.

Les sédiments pélagiques qui se déposent le plus loin des côtes et à de grandes profondeurs sont surtout caractérisés au point de vue minéralogique et lithologique, par la présence de particules volcaniques et par des substances secondaires formées *in situ*. Les matières arénacées provenant de la désagrégation des continents y jouent un rôle subordonné. Les restes des organismes pélagiques qui vivent à la surface des mers et qui, après la mort de ces êtres, tombent sur le lit de l'Océan, forment la partie importante de ces sédiments ; comme l'indiquent d'ailleurs les noms de *vase à ptéropodes*, *vase à globigérines*, *vase à diatomées*, *vase à radiolaires*. Dans certaines régions plus profondes ces vases sont remplacées par l'*argile rouge* formée en place, pour la plus grande partie, aux dépens des roches et des minéraux qui tapissent le fond des océans et se décomposent sous l'influence de l'action chimique des eaux marines.

Les conditions physiques qui dominent sur les aires où se déposent les sédiments pélagiques sont très uniformes. Dans ces fonds, la température est voisine de celle de la congélation de l'eau de mer, elle oscille entre  $+4^{\circ}$  —  $4^{\circ}$  C et pour chaque point elle est constante durant toute l'année. La lumière solaire ne pénètre pas à ces profondeurs, la vie végétale y est éteinte ; on y constate la présence d'animaux appartenant à tous les groupes principaux, mais représentés seulement par des espèces ou des individus relativement peu nombreux ; plusieurs de ces êtres de mer profonde offrent des caractères qui les rapprochent

d'organismes fossiles. Certains de ces dépôts pélagiques doivent se former avec une extrême lenteur. Sauf quelques exceptions, les couches géologiques des régions émergées ne montrent guère de roches qu'on puisse considérer comme identiques aux sédiments pélagiques. Faisons remarquer enfin qu'il n'y a pas de limite tranchée, séparant les aires occupées par les différents types de sédiments marins: ces dépôts passent de l'un à l'autre par transition graduelle.

**Argile rouge.** — Ce sédiment occupe les plus grandes profondeurs aux points les plus éloignés des terres, il s'étale sur la plus grande surface au fond des océans. On admet que la matière argileuse de ce dépôt dérive des silicates alumineux répandus sur le fond de la mer et qui doivent leur origine aux éruptions volcaniques subaériennes ou sous-marines. L'argile en suspension dans l'eau de mer et qui est apportée des terres, doit jouer aussi un certain rôle dans l'accumulation de ce sédiment.

70 échantillons d'argile rouge recueillis par le *Challenger* proviennent de profondeurs comprises entre 2225 et 3950 brasses (moyenne 2730 br.). Ce dépôt est coloré en rouge ou rouge brique par le peroxyde de fer (Atlantique), couleur chocolat foncé par la présence de peroxyde de Manganèse (Sud du Pacifique, Océan Indien), bleuâtre plus près des continents et des embouchures des fleuves, grisâtre par la présence de coquilles de foraminifères. Le tube de sonde a pénétré jusqu'à 70 centimètres dans cette argile, la partie inférieure était dure et compacte. On observe sur certains échantillons des couches alternantes ; quelquefois l'argile rouge est bigarrée par des grains de manganèse, de ponce et d'autres produits volcaniques. Elle présente les caractères minéralogiques essentiels de l'argile ( $2 \text{ SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$ ) ; mais elle est fusible à cause des particules volcaniques intimement unies à ce sédiment. Pour les échantillons recueillis aux plus grandes profondeurs la teneur en  $\text{CaCO}_3$  ne s'élève guère à plus de 1 ou 2 p. c. Si l'on étudie des échantillons de la même région océanique, mais provenant de profondeurs moindres, on constate la présence d'un nombre considérable d'organismes calcareux de surface (*Globigerina*, *Pulvinulina*, *Sphæroidina* et *Pullenia*, avec cocolithes et rhabdolithes). Quelquefois on observe, en même temps que les organismes de surface, des foraminifères qui vivent dans les fonds (*Miliolina*, *Textularia*, etc.). Presque jamais on n'observe dans l'argile rouge des ptéropodes, des hétéropodes ou des coccosphères.

La teneur moyenne en  $\text{CaCO}_3$  est de 6.70 p. c. La relation entre la teneur en  $\text{CaCO}_3$  et la profondeur est la suivante :

18	échantillons de 2000 à 2500 br.	renferment en moyenne	8,39 p. c.	$\text{CaCO}_3$
42	" 2500 à 3000 "	"	7,16 p. c.	"
7	" 3000 à 3500 "	"	0,88 p. c.	"
3	" de plus de 3500 "	"	2,38 p. c.	"

Parmi ces trois échantillons recueillis à plus de 3500 brasses, deux ne renferment que des traces de  $\text{CaCO}_3$ . Le troisième, provenant de 3875 brasses, doit être considéré comme impure et renfermant du calcaire d'un autre sondage.

L'argile rouge passe à la vase à radiolaires (régions tropicales du Pacifique ou de l'Océan Indien), elle peut passer aussi à la vase à diatomées (Océan Antarctique). Les spicules siliceux de spongiaires sont présents dans presque tous les échantillons d'argile rouge. La teneur en organismes siliceux est en moyenne 2.39 p. c. C'est sur les aires à argile rouge que les organismes sont le moins abondants ; toutefois dans les fosses les plus profondes, on trouve des restes d'annélides et de foraminifères arénacés, et la drague a ramené des régions à argile rouge des poissons et des représentants de presque tous les groupes d'invertébrés.

Dans les 70 échantillons d'argile rouge du *Challenger* la moyenne du *résidu* est de 93.30 p. c. Les fragments de ponce plus ou moins altérés sont très abondants ; parmi les *minéraux* observés dans l'argile rouge, indiquons la sanidine, les plagioclases, l'augite, la hornblende, la magnétite, etc., des éclats vitreux. La palagonite est très fréquente, ainsi que des grains et des nodules de peroxyde de fer et de manganèse unis à des matières terreuses (wad), enfin des sphérule microscopiques, magnétiques, à centre métallique (sphérule cosmiques).

Quelquefois les courants atmosphériques ou les ice-bergs transportent des poussières ou des fragments de roches qui tombent sur le fond et viennent se mélanger aux matières qui constituent essentiellement l'argile rouge. Dans certaines argiles rouges du Sud du Pacifique et de l'Océan Indien, on constate la présence de cristaux microscopiques de phillipsite formés en place.

Les *minéraux* ne forment en moyenne que 5.56 p. c. du sédiment. Dans certains cas des produits volcaniques clastiques peuvent monter à 20 p. c. La dimension habituelle des particules minérales est d'environ 0.08 mm. ; elles sont généralement décomposées.

Les dragages du *Challenger* dans les aires à argile rouge ramènèrent

onze fois des dents de squales et six fois des caisses tympaniques et d'autres ossements de cétacés.

Les *particules amorphes* consistent essentiellement en silicate hydraté d'alumine, auquel sont unis des particules minérales excessivement petites, des débris de diatomées, de radiolaires, etc. La teneur moyenne en *particules amorphes* des 70 échantillons d'argile rouge est de 85.35 p. c.

18	échantillons de 2000 à 2500	br.	80.44	p. c.	teneur moyenne en résidu amorphe.
42	"	2500 à 3000	"	85.80	p. c. "
7	"	3000 à 3500	"	95.28	p. c. "
3	"	à plus de 3500	"	80.28	p. c. "

La composition moyenne de l'argile rouge peut se rendre comme suit :

CaCO <sub>3</sub>	Foraminifères pélagiques	.	.	4.77	
	Foraminifères des profondeurs	.	.	0.59	
	Autres organismes	.	.	1.34	6.70
Résidu	Organismes siliceux	.	.	2.39	
	Minéraux	.	.	5.56	
	Particules amorphes	.	.	85.35	93.30
					100.00

D'après ce qu'on connaît aujourd'hui de la répartition des sédiments marins, on doit considérer l'argile rouge comme le sédiment le plus répandu ; il occupe une aire dépassant le quart de l'aire totale du globe.

Dans l'Océan Atlantique l'argile rouge s'étale sur 15.022.000 kilomètres carrés.

»	Indien	»	»	12.691.000	»
»	Pacifique	»	»	105.672.000	»

**Vase à Radiolaires.** Ce sédiment est localisé dans les plus grandes profondeurs, ainsi que l'argile rouge, dont il ne diffère que par la grande abondance de restes de Radiolaires, de spicules de spongiaires et de diatomées. La couleur de la vase à Radiolaires est rouge, rouge-brunâtre, quelquefois jaune-paille. Dans les échantillons-types, cette vase est moins plastique que l'argile rouge. Elle contient les mêmes particules minérales qui celle-ci et les mêmes organismes. Ce sédiment a été constaté la première fois à l'un des points les plus profonds de l'Océan (St. 225, lat. 11°24' N, long. 143° 16'E. 4575 et 4475 brasses). Cet échantillon-type abonde en radiolaires, en diatomées, en spicules de spongiaires. On observa un ou deux fragments de foraminifères pélagiques.

D'après le professeur Haeckel et le Dr Dreyer, la vase de cette station renferme 338 espèces de radiolaires appartenant presque exclusivement à deux légions (*Nasselaria* et *Spumellaria*). Comme dans tous les sédiments des grandes profondeurs, les *Acantharia* manquent.

Nous avons classé avec les vases à radiolaires toutes les argiles rouges renfermant plus de 20 p. c. de squelettes de Radiolaires et d'organismes siliceux autres que les diatomées. Les 9 échantillons recueillis par le *Challenger* dans l'Océan Pacifique proviennent de profondeurs comprises entre 2350 br. (St. 273) et 4475 brasses. (St. 225). La profondeur moyenne est 2894 brasses ; elle est donc supérieure à celle de l'argile rouge.

Le pourcentage en  $\text{CaCO}_3$  est en moyenne 4.01 p. c. ; cette teneur doit être attribuée à la présence de foraminifères pélagiques et à celle de foraminifères du fond (Rotalidés, Nummulinidés). Dans 7 échantillons on a constaté des dents de poisson.

Le *résidu* est brun-rougeâtre, en moyenne il forme 96 p. c. du sédiment, les radiolaires forment la partie principale de ce résidu, les diatomées, les spicules de spongiaires s'y retrouvent aussi.

Les *minéraux* ont environ 0,02 mm. ; ils sont généralement anguleux et ne forment en moyenne que 1,67 p. c. du sédiment.

Les *particules amorphes* montent à 39.88 en moyenne, ce sont surtout des fragments d'organismes siliceux.

Voici la composition moyenne de la vase à radiolaires :

$\text{CaCO}_3$	Foraminifères pélagiques	.	.	3.11	
	Foraminifères du fond	.	.	0.11	
	Autres organismes	.	.	0.79	4.01
Résidu	Organismes siliceux	.	.	54.44	
	Minéraux	.	.	1.67	
	Particules amorphes	.	.	39.88	95.99
					100.00

Si l'on compare le résultat des analyses de l'argile rouge et de la vase à radiolaires on voit que la différence la plus notable réside dans la teneur élevée en silice de cette vase (46.50 p. c. de silice soluble en moyenne).

Outre les échantillons de vase à radiolaires recueillis par le *Challenger*, le *Tuscarora* en a découvert sur d'autres aires du Pacifique, et l'*Egeria* en a ramené des profondeurs de l'Océan Indien. Jusqu'ici on n'en a pas encore signalé dans l'Atlantique. Les aires distinctes recouvertes par cette vase dans le Pacifique sont au nombre

de 7, elles s'étalent sur 3.006,990 kilomètres carrés; dans l'Océan Indien ce sédiment occupe environ 2.924.110 kilomètres carrés.

**Vase à diatomées.** Le sédiment humide est couleur crème ou jaune-paille; après dessiccation il est presque blanc, farineux. Près des côtes la vase à diatomées est bleuâtre. La couche superficielle de ce dépôt est peu compacte; au-dessous de cette couche la masse est plus cohérente, plus ou moins schistoïde. Pour les caractères physiques on peut rapprocher cette vase d'une diatomite d'eau douce. Dans les collections du *Challenger* il y a cinq spécimens de vase à diatomées provenant tous de l'Océan Antarctique. La profondeur moyenne est 1477 brasses.

La partie principale du sédiment est formée de frustules de diatomées appartenant à plusieurs genres et espèces, de restes de radiolaires et de spongaires. Ces débris siliceux forment en moyenne 41 p. c. de la masse. Les foraminifères arénacés sont presque toujours présents; les rhabdolithes et les cocolithes manquent dans les échantillons de cette vase. La teneur moyenne en  $\text{CaCO}_3$  est de 22.96 p. c.; ce sont surtout des coquilles de foraminifères pélagiques qui constituent l'élément calcaire de ce dépôt.

Parmi les *minéraux*, tantôt prédominent des fragments de roches ou des minéraux volcaniques, tantôt des particules provenant des formations anciennes et sédimentaires sont abondantes. On doit s'y attendre, du reste, si l'on tient compte que tous les échantillons de vase à diatomées ont été recueillis par les *Challenger* dans les régions des mers australes où flottent les ice-bergs. La teneur moyenne en particules minérales est de 15,6 p. c., dimension moyenne 0,12 mm. de diamètre, mais on trouve associés à ces fragments des blocs de roches d'un grand volume. Ils sont parsemés sur la région comprise à partir de la Barrière de glace, jusqu'au 40° lat. Sud. Ces blocs sont des granites, granitites, grès chloriteux, grès micacés, amphibolite, gneiss, schistes cristallins, phyllades et autres roches volcaniques anciennes et récentes.

Les *particules amorphes* forment en moyenne 20,44 p. c.

La composition moyenne des cinq échantillons de vase à diatomées peut être rendue comme suit :

$\text{CaCO}_3$	Foraminifères pélagiques . . . .	18.21
	Foraminifères du fond . . . .	1.60
	Autres organismes . . . .	3.15 22.96
Résidu	Organismes siliceux . . . .	41.00
	Minéraux . . . .	15.60
	Particules amorphes . . . .	20.44 77.04 100.00

Les dragages du *Challenger* ont montré la grande abondance d'organismes de mer profonde sur les aires à vase à diatomées. A la station 157, 1950 br., un seul coup de drague ramena 150 spécimens d'animaux appartenant à 77 espèces et à 68 genres.

Les observations des naturalistes du *Challenger*, et d'autres expéditions, en particulier de celle de Sir James Ross, indiquent qu'une grande zone de vase à diatomées entoure les régions polaires du Sud, comme nous l'avons représenté sur la carte. Cette zone est presque entièrement comprise entre le cercle antarctique et la lat. 40° S. ; on peut évaluer à 28,179,200 kilomètres carrés l'aire occupée dans cette région par la vase à diatomées. Dans le Nord du Pacifique cette même vase se retrouve localisée sur 103,600 kilomètres carrés.

**Vase à globigérines.** Nous désignons sous le nom de vase à globigérines les dépôts qui renferment plus de 30 p. c. de  $\text{CaCO}_3$ , provenant des coquilles de foraminifères pélagiques. Comme, parmi ces foraminifères, les globigérinidés jouent le rôle principal, on a désigné ce sédiment sous le nom de vase à globigérines.

Un plus grand nombre d'espèces de foraminifères pélagiques s'observent dans les sédiments sous les tropiques, un plus petit nombre, dans ceux des régions froides. Les espèces dominantes d'un sédiment varient donc suivant la latitude, ou, plus exactement, suivant que les courants de surface sont polaires ou tropicaux.

La vase à globigérines est blanche, jaune-laiteux, rosâtre, brunâtre ou grisâtre. Quelquefois cette vase a un aspect bigarré à cause des grains de manganèse et des cendres volcaniques que le dépôt renferme. Dans les régions tropicales les foraminifères qui le constituent sont visibles à l'œil nu, dans les régions tempérées le grain est généralement plus fin. Après dessiccation, la vase à globigérines est pulvérulente.

Le *Challenger* a recueilli 118 échantillons que nous avons déterminés comme vase à globigérines ; ils proviennent de profondeurs comprises entre 400 et 2925 brasses (profondeur moyenne 2002 brasses). Notons que de ces 118 échantillons, 84 proviennent de profondeurs comprises entre 1500 et 2500 brasses.

Outre les foraminifères, on trouve dans la vase à globigérines beaucoup d'autres organismes pélagiques : ptéropodes, hétéropodes. Sauf dans les mers boréales et australes, les cocolithes et rhabdolithes sont représentés, ainsi que les mollusques du fond, les échinodermes, les annélides, les coraux, les polyzoaires, etc.

La teneur en  $\text{CaCO}_3$  est comprise entre 30,15 et 96,80 p. c. (moyenne 64,47).

En groupant les échantillons par zones de profondeur de 500 brasses, on obtient pour chacune de ces zones les moyennes suivantes :

3 échantillons à moins de		500 br. — moyenne en $\text{CaCO}_3$	87.07 p. c.
2	"	500 à 1000	" 68.47 "
13	"	1000 à 1500	" 63.65 "
35	"	1500 à 2000	" 72.66 "
49	"	2000 à 2500	" 61.74 "
16	"	au-dessous de 2500	" 49.58 "

On voit donc que le pourcentage de  $\text{CaCO}_3$  décroît à mesure que la profondeur augmente. Notons que la portion du carbonate de chaux qui dérive des foraminifères pélagiques est en moyenne de 53,10 p. c.

Dans ces 118 échantillons le *résidu* varie de 3,20 à 69,85 p. c. (moyenne, 35,53); il est formé par des radiolaires, des spicules de spongaires, des frustules de diatomées, des foraminifères arénacés, des moules glauconitiques.

Les *minéraux*, dont la dimension moyenne est de 0,089 mm., sont généralement anguleux et forment en moyenne 3,33 p. c. Dans les vases à globigérines pures, ils sont rares; on y constate le feldspath, l'augite, la hornblende, la magnétite, des particules de verre volcanique, etc. Lorsque le résidu est plus abondant, on observe des feldspaths monocliniques et tricliniques, l'augite, le périclase, la hornblende, plus rarement les micas, la bronzite, l'actinote, la chromite, la glauconie, le quartz et les poussières cosmiques. Quelques-uns de ces minéraux ne se trouvent que dans des dépôts qui, au voisinage des côtes, passent aux sédiments terrigènes.

Les *particules amorphes* forment en moyenne 30.56 p. c. On constate qu'elles augmentent avec la profondeur.

Le résidu d'une vase à globigérines se rapproche de l'argile rouge, c'est une matière argileuse rougeâtre. Tout semble indiquer que la vie est beaucoup plus abondante dans les régions à vase à globigérines que dans celles où se déposent la vase à radiolaires et l'argile rouge.

On peut exprimer de la manière suivante la composition de la vase à globigérines :

$\text{CaCO}_3$	Foraminifères pélagiques	.	.	53.10	
	Foraminifères du fond	.	.	2.13	
	Autres organismes	.	.	9.24	64.47
Résidu	Organismes siliceux	.	.	1.64	
	Minéraux	.	.	3.33	
	Particules amorphes	.	.	30.56	35.53
					100.00

Sans insister sur les résultats qu'on fait découler des nombreuses analyses chimiques de vases à globigérines qui ont été publiées dans notre Rapport, signalons qu'on constate toujours avec le carbonate de chaux, une teneur plus ou moins élevée en carbonate de magnésie. On peut interpréter ce fait en admettant que le carbonate de magnésie provient de l'action du sulfate de magnésie, contenu dans l'eau de mer, sur les coquilles de foraminifères.

La vase à globigérines s'étale sur environ 128,256,800 kilomètres carrés.

Dans l'Océan Indien	elle occupe	31.649.800	kilomètres carrés.
» " Pacifique	»	38 332.000	" "
» " Atlantique	»	58.275.000	" "

On voit par un coup d'œil sur la carte, que la vase à globigérines occupe toutes les profondeurs moyennes, qui sont écartées des continents et des îles, et que ce dépôt est surtout développé dans les régions où la surface de la mer est sillonnée par des courants chauds : les seuls points où on la constate dans les régions arctiques sont ceux où s'étendent encore, vers le Nord, les eaux du Gulf Stream. Remarquons aussi qu'on observe cette vase à de plus grandes profondeurs dans les régions tropicales que dans celles situées au Sud ou au Nord sous des latitudes plus élevées.

**Vase à Ptéropodes.** On désigne sous ce nom les dépôts pélagiques dans lesquels une partie très considérable des organismes calcaires est formée par les coquilles de ptéropodes et d'hétéropodes, ou par celles d'autres mollusques pélagiques ou mollusques larvaires. Ces dépôts ne se forment jamais aux plus grandes profondeurs : on peut en trouver exceptionnellement à 2000 brasses, mais c'est généralement à des profondeurs moindres qu'on observe ce sédiment.

On rencontre aussi dans la vase à ptéropodes les coquilles de *Ianthina*, des larves de gastropodes, des restes de quelques foraminifères, très délicats de structure. Dans les régions océaniques, ce dépôt se rapproche de la vase à globigérines par la composition ; seulement la vase à ptéropodes est plus friable et plus granulaire, elle est moins homogène et moins uniforme à cause des fragments de coquilles assez grands qu'elle renferme.

Les 13 échantillons de vase à ptéropodes recueillis par le *Challenger*, s'étalent à une profondeur moyenne de 1044 brasses.

2 échantillons	proviennent d'une profondeur inférieure à 500 br.
3 "	" de 500 à 1000 br.
7 "	" de 1000 à 1500 br.
1 "	" supérieure à 1500 br.

La teneur en  $\text{CaCO}_3$  est en moyenne de 79,25 p. c. Dans les échantillons que nous avons étudiés, on peut évaluer à 47,15 p. c. le carbonate de chaux provenant des foraminifères pélagiques, à 3,15 p. c. celui provenant des foraminifères du fond ; le pourcentage fourni par d'autres organismes, ptéropodes, hétéropodes, cocolithes, rhabdolithes, monte approximativement à 28,95 p. c.

Le *résidu* est rouge ou brun, sa teneur moyenne est 20,75 p. c., les restes d'organismes siliceux montent à 2,89 p. c. en moyenne (spicules de spongiaires, radiolaires, diatomées, moules de foraminifères et foraminifères arénacés). Les *minéraux* sont tous anguleux, ils forment en moyenne 2,85 p. c., leur dimension est 0,08 mm. environ. Les *particules amorphes* s'élèvent en moyenne à 15,01 p. c.

La composition moyenne de la vase à ptéropodes est la suivante :

$\text{CaCO}_3$	Foraminifères pélagiques . . .	47.15
	Foraminifères du fond . . .	3.15
	Autres organismes . . .	28.95      79.25
Résidu	Organismes siliceux . . .	2.89
	Minéraux . . .	2.85
	Particules amorphes . . .	15.01      20.75
		100.00

La composition de la vase à ptéropodes diffère de celle de la vase à globigérines par un résidu plus abondant, et surtout par le pourcentage élevé d'organismes calcaires autres que les foraminifères.

Le *Challenger* n'a découvert la vase à ptéropodes que dans l'Atlantique, où elle existe sous la forme typique sur les chaînes centrales sous-marines, à une profondeur qui ne dépasse pas 1400 brasses. La surface recouverte par ce dépôt peut être évaluée à 1.036.000 kilomètres carrés. Presque toujours les ptéropodes sont très nombreux dans les dépôts peu profonds près des terres tropicales, mais souvent ils ne sont pas assez abondants pour imprimer un caractère distinctif au dépôt. Dans certains cas exceptionnels, par exemple près des récifs coralliens et des îles océaniques, ces mollusques sont assez abondants pour former des vases à ptéropodes : c'est le cas au large des Antilles et des Açores, près des îles Fidji et d'autres îles du Pacifique. Dans les régions tempérées du nord et dans les régions polaires, ce sédiment ne peut se former parce que les ptéropodes ne sont pas assez abondants dans les eaux de surface.

## II. — DÉPÔTS TERRIGÈNES.

On admet que les dépôts terrigènes sont formés pour la plus grande partie de matériaux dérivant immédiatement des masses continentales qui ont été soumises aux phénomènes de la dynamique externe. L'ensemble des dépôts terrigènes recouvre sur le fond des mers une surface de 74.835.900 kilomètres carrés, qui se subdivise comme suit :

Dépôts terrigènes de mer profonde (en deçà de 100 br.)	48.174.000 kil. car.
»       »       formés entre 100 brasses et la basse mer	25.900 000     »
»       »       »       la basse et la haute mer	161 900       »

Dans ce qui va suivre, nous ne traiterons, comme nous l'avons dit plus haut, que des sédiments terrigènes qui se déposent en deçà de la courbe bathymétrique de 100 brasses et que nous désignons comme *dépôts terrigènes de zone profonde*. Ils passent graduellement aux dépôts pélagiques et ils sont en quelque sorte la continuation des dépôts d'eaux basses qui s'appuient immédiatement sur les côtes.

**Boue bleue.** Ces boues sont les dépôts les plus fréquents dans les eaux de la zone littorale profonde autour des continents ; on les observe dans toutes les mers plus ou moins fermées. La boue bleue est couleur ardoise ; la couche superficielle du dépôt est rougeâtre ou brunâtre. La couleur bleue est due à des matières organiques et à du sulfure de fer finement divisé. Cette boue dégage une odeur d'hydrogène sulfuré. Par dessiccation, elle devient brune ou grise. Le dépôt mouillé est plastique, mais terne. Quelquefois les échantillons sont homogènes, d'autres fois leur aspect est hétérogène par la présence de fragments de roches, de coquilles et de débris d'organismes calcaires.

Le *Challenger* a recueilli 58 échantillons de boue bleue, la profondeur moyenne à laquelle on les a dragués est de 1411 brasses. La teneur en  $\text{CaCO}_3$  est en moyenne de 12,48 p. c. Les organismes calcaires sont des foraminifères pélagiques et des foraminifères du fond : les premiers forment environ 7,52 p. c. de la masse et les seconds 1,75 p. c. Les restes d'organismes d'eaux peu profondes ou qui vivent sur le fond, sont ceux qui prédominent dans ce dépôt.

Le *résidu* est brun ou gris, plus rarement bleu ; 9 échantillons ne contenaient pas de  $\text{CaCO}_3$ .

Les *minéraux* sont des fragments ou des particules dérivant de roches continentales ; les dimensions de ces particules clastiques dimi-

nuent à mesure qu'on s'écarte des côtes et qu'on s'approche des profondeurs. Les grains de quartz arrondis dominent dans la boue bleue. La dimension des particules minérales, arrondies ou anguleuses, est en moyenne de 0.115 mm.; leur pourcentage, très variable, est en moyenne 22.48. Notons que les particules de quartz rares, peu distinctes, ou absentes dans les sédiments pélagiques, sont très abondantes, au contraire, dans les dépôts terrigènes. Les roches de ces sédiments sont des fragments des roches cristallines anciennes, schisto-cristallines, de quartzite, de grès, de calcaire, etc ; les minéraux les plus fréquents, sont, outre le quartz, l'orthose, les plagioclases, la hornblende verte, l'augite, les micas blanc et noir, l'épidote, la chlorite, le zircone, la tourmaline, etc. La glauconie n'est pas caractéristique de la boue bleue mais on l'observe dans presque tous les échantillons, seulement elle est beaucoup moins abondante que dans la boue verte.

La teneur en *particules amorphes* est en moyenne 61.77 p. c. Ces particules amorphes sont toujours beaucoup moins nombreuses dans les boues bleues que dans l'argile rouge ou la vase à radiolaires.

Le tableau suivant montre la teneur moyenne en minéraux, et en particules amorphes, ainsi que la dimension du grain pour les échantillons de boues bleuâtres diverses.

	MINÉRAUX	DIMENSIONS	PARTICULES AMORPHES
Profondeur inférieure à 500 br.	29.08 p. c.	0.137 mm.	53.22 p. c.
" de 500 à 1000 "	30.18 "	0.102 "	56.48 "
" 1000 à 1500 "	19.77 "	0.118 "	58.29 "
" 1500 à 2000 "	23.33 "	0.115 "	62.25 "
" 2000 à 2500 "	18.00 "	0.119 "	66.23 "
" supérieure à 2500 "	16.89 "	0.087 "	69.46 "

Les particules amorphes augmentent donc avec la profondeur et l'on peut dire d'une manière générale que les particules minérales diminuent en nombre et en dimension à mesure qu'on s'écarte des côtes. Il n'y a d'exception à cette règle que pour les régions de la mer où passent les glaces flottantes.

Le tableau qui suit montre la composition moyenne des échantillons de boue bleue recueillis par le *Challenger*. Si l'on compare cette composition de ces boues bleues avec celle de l'argile rouge, on constate que dans celle-ci le pourcentage des minéraux est moins élevé et que les particules amorphes sont en plus grande quantité.

CaCO <sub>3</sub>	Foraminifères pélagiques . . .	7.52	12.48
	Foraminifères du fond . . .	1.75	
	Autres organismes . . .	3.21	
Résidu	Organismes siliceux . . .	3.27	87.52
	Minéraux . . .	22.48	
	Particules amorphes . . .	61.77	
			100.00

Les boues bleues entourent presque toutes les côtes et remplissent toutes les mers fermées ; elles se déposent aussi sur le fond de l'Océan Arctique. De tous les sédiments terrigènes, ce sont les boues bleues qui occupent la plus vaste étendue : cette surface est d'environ 37.555.000 kilomètres carrés. Les aires sur lesquelles elles s'étendent sont :

Dans l'Océan Arctique environ	10,360.000	kilomètres carrés
Dans le Pacifique	7,770.000	" "
Dans l'Atlantique	5,180.000	" "
Dans l'Océan Indien	1,295.000	" "
Dans l'Océan du Sud	3,885.000	" "
Dans l'Antarctique	6,475.000	" "

**Boue rougeâtre.** Le long des côtes du Brésil les dépôts terrigènes de la zone profonde sont d'une nature exceptionnelle. Au lieu d'être comme ailleurs bleus ou verts, ils sont rouge-brun ou rouge-brique. Cette couleur paraît être due à la grande quantité de matières ocreuses apportées à la mer par le fleuve des Amazones, l'Orénoque et d'autres fleuves de l'Amérique du Sud, matières que les courants étaient ensuite le long des côtes. Les substances organiques n'y sont peut-être pas assez abondantes pour réduire tout le fer de peroxyde en protoxyde : le sulfure de fer ne s'accumule pas ici comme dans les boues bleuâtres. A ce double point de vue ces boues rougeâtres ont de l'analogie avec l'argile rouge des grands fonds. Dans cette zone de boue rouge on ne trouve pas de moules glauconitiques ni de glauconie. Sauf cette exception, les particules minérales sont les mêmes que dans les boues bleues. Les organismes calcaires sont aussi les mêmes pour ce sédiment et pour les boues rouges ; on constate quelques spicules de spongiaires.

Les 10 échantillons de boue rouge étudiés en détail, proviennent de profondeurs de 623 brasses en moyenne. Comme le nom l'indique, ces boues sont rouges ou brunâtres. La teneur moyenne en CaCO<sub>3</sub> est de 32.28 p. c., les coquilles de foraminifères pélagiques peuvent fournir 13.44 p. c. de carbonate de calcium, les foraminifères du fond

3.33 p. c.; la moyenne du  $\text{CaCO}_3$  provenant d'autres organismes est 15.51 p. c.

Le *résidu* est toujours brun ou jaune, il monte en moyenne à 67.72 p. c. Les organismes siliceux ne forment pas plus de 1 p. c. des sédiments étudiés. Les *minéraux* constituent en moyenne 21.11 p. c., ils sont arrondis ou anguleux ; leur diamètre est en moyenne 0.15 mm. Le quartz est le minéral le plus abondant ; les autres espèces sont les mêmes que celles de tous les dépôts terrigènes le long des côtes continentales. Les *particules amorphes* montent à 45.61 p. c. en moyenne. On constate que pour les faibles profondeurs les minéraux sont plus grands et les particules amorphes moins abondantes.

			MINÉRAUX	DIMENSIONS	PARTICULES AMORPHES
Profondeur	500	br.	20 p. c.	0.30 mm.	33 37 p. c.
de	500 à 1000	"	20 "	0.126 "	49 04 "
Au-dessus de	1000	"	25 "	0.075 "	49.24 "

Le tableau suivant donne la composition moyenne des échantillons de boue rouge recueillis par le *Challenger* :

$\text{CaCO}_3$	{	Foraminifères pélagiques	.	.	13.44
		Foraminifères du fond	.	.	3.33
		Autres organismes	.	.	15.51 32.28
Résidu	{	Organismes siliceux	.	.	1.00
		Minéraux	.	.	21.11
		Particules amorphes	.	.	45.61 67.72
					100.00

Ces boues rougeâtres occupent le long des côtes du Brésil environ 259.000 kilomètres carrés. Des dépôts semblables se forment aussi dans la mer Jaune au large des côtes de la Chine, près de l'embouchure du Yang-tse-kiang.

**Boue verte et Sable vert.** Leur composition, leur mode de formation et leur répartition les rapprochent beaucoup des boues bleues et rouges. Le minéral caractéristique des boues vertes est la glauconie. On trouve souvent aussi dans ces sédiments une matière verdâtre amorphe qui semble être, en partie du moins, d'origine organique. Les boues vertes sont presque toujours largement représentées le long des côtes élevées et exposées aux points où il n'y a pas d'abondants dépôts fluviatiles. Ce sédiment renferme généralement beaucoup de restes organiques, de particules minérales dérivant de roches continentales et assez bien de matières argileuses, moins cependant

que dans les boues bleues. Les boues vertes et les sables verts ne se retrouvent pas dans des eaux profondes, on les rencontre généralement entre 100 et 900 brasses. Le long des régions où elles se déposent on constate que les conditions pélagiques tendent à exister plus près des côtes que dans les régions à boue bleue. C'est à tel point que, n'étaient la présence de la glauconie et la nature des particules minérales, plusieurs des dépôts groupés sous le titre de boue verte pourraient tout aussi bien être classés avec les vases glauconifères. Les boues vertes le plus pures ont été recueillies par le *Tuscarora* au large de la Californie à 400 brasses.

La glauconie manque lorsqu'il y a beaucoup d'hydrate ferrique dans un dépôt terrigène (côtes du Brésil), ou lorsque le dépôt est fluviatile, et rapidement accumulé. D'un autre côté, si le dépôt renferme en grand nombre des fragments de roches anciennes, fortement altérées, on constate que les moules glauconitiques sont très abondants. Il y a souvent des concrétions phosphatiques et toujours des substances organiques dans ces dépôts.

**Boue verte.** On a décrit 22 échantillons provenant en moyenne de 513 br. Leur couleur est le vert, quelquefois le vert-grisâtre. La teneur en carbonate de chaux est en moyenne de 25.52 p. c. On constate une teneur plus élevée en  $\text{CaCO}_3$  à mesure que la profondeur et la distance à la côte augmentent. Les coquilles de foraminifères pélagiques fournissent 35 p. c. des carbonates, et celles des foraminifères du fond 14.59 p. c. les restes d'autres organismes.

Le résidu est en moyenne de 74.48 p. c. ; il est de couleur verte.

Les minéraux forment en moyenne 27.11 p. c., à l'exception des grains de glauconie, ils sont généralement anguleux ; leur diamètre est d'environ 0.13 mm. Les espèces les plus fréquentes sont le quartz, les feldspaths monoclinique et triclinique, la magnétite, la hornblende et l'augite. La présence du zircone, de la tourmaline, du grenat et de fragments de roches continentales est caractéristique pour ce sédiment ; on y observe souvent aussi des nodules et de petites concrétions de phosphate de chaux. Les particules amorphes forment en moyenne 33.70 p. c. du dépôt.

Le tableau suivant montre le pourcentage moyen des minéraux, leurs dimensions moyennes et le pourcentage des particules amorphes.

	MINÉRAUX	DIMENSIONS	PARTIC. AM.
Profondeurs inférieures à 500 br.	29.60 p. c.	0.145 mm.	24.17 p. c.
, de 500 à 1000 br.	26.16 p. c.	0.126 mm.	44.89 p. c.
, supérieures à 1000	17.50 p. c.	0.100 mm.	47.76 p. c.

Le pourcentage des minéraux et leurs dimensions décroissent donc avec une profondeur plus grande, tandis que les particules amorphes augmentent.

Voici la composition moyenne des échantillons de boue verte recueillis par le *Challenger* :

CaCO <sub>3</sub>	Foraminifères pélagiques . . .	14.59	
	Foraminifères du fond . . .	2.93	
	Autres organismes . . .	7.99	25.52
Résidu	Organismes siliceux . . .	13.67	
	Minéraux . . .	27.11	
	Particules amorphes . . .	33.70	74.48
			100.00

Il faut noter que sous la rubrique organismes siliceux (13,67 p. c.) sont compris aussi les moules glauconitiques d'organismes.

**Sable vert.** On a déterminé comme sable vert 7 échantillons recueillis par le *Challenger*; ils diffèrent de la boue verte parce qu'ils sont plus greus, les particules amorphes moins abondantes et parce qu'on les trouve à des profondeurs moindres et en des points où les particules peuvent être mises en mouvement. Les échantillons de sable vert proviennent d'une profondeur moyenne de 449 brasses. La teneur moyenne en carbonate de chaux est 49,78 p. c. dont 21 p. c. proviennent de foraminifères pélagiques, 15 p. c. de foraminifères du fond et 13.78 p. c. de restes d'autres organismes calcaieux.

Le *résidu* est verdâtre, il forme 50.22 p. c. du sédiment. Les *minéraux* ont une teneur moyenne de 30 p. c. et les *particules amorphes* montent à 12.22 p. c. La dimension moyenne des minéraux est de 0,2 millimètres.

Le tableau suivant fait voir la composition moyenne du sable vert recueilli par le *Challenger*.

CaCO <sub>3</sub>	Foraminifères pélagiques . . .	21.00	
	Foraminifères du fond . . .	15.00	
	Autres organismes . . .	13.78	49.78
Résidu	Organismes siliceux . . .	8.00	
	Minéraux . . .	30.00	
	Particules amorphes . . .	12.22	50.22
			100.00

Les analyses montrent que le carbonate de chaux est plus abondant dans les boues et sables verts que dans les boues bleues. Ce fait peut

s'interpréter par la présence de coquilles pélagiques plus nombreuses dans les boues et sables verts. Nous avons dit plus haut que partout où des dépôts se forment les conditions pélagiques se font sentir plus près des côtes. Les analyses indiquent en outre que la partie insoluble dans  $HCl$  est presque entièrement composée de grains de quartz qui proviennent, avec les fragments de feldspath, de la désintégration des roches continentales.

Le *Challenger* a signalé des boues et sables verts au large de la côte de Portugal, de la côte orientale de l'Amérique du Nord, au large du Cap de Bonne Espérance et des côtes d'Australie, du Japon et de l'Amérique du Sud. D'autres expéditions en ont découvert au large de la côte de la Californie, de la côte orientale d'Afrique, etc. Ces boues et sables verts paraissent former une bande interrompue s'étendant le long de beaucoup de côtes continentales et se maintenant à la partie supérieure du versant du socle continental. L'aire occupée par les dépôts est d'environ 2,590,000 kilomètres carrés ; on comprend alors dans cette évaluation les sédiments de même nature qu'on a observés dans la zone des eaux basses, à des profondeurs qui n'atteignent pas 100 brasses.

**Boue et Sable volcaniques.** Ils s'étalent surtout autour des îles océaniques de nature volcanique. Près du rivage de ces îles, dans la limite de l'action des vagues, ce sont généralement des sables qui se déposent ; ils sont formés de minéraux volcaniques et de débris d'organismes calcaires. Le diamètre de ces grains varie de 0.5 millimètres à plusieurs millimètres. A une distance plus grande de ces îles, dans les eaux plus profondes, les particules minérales s'atténuent et les organismes pélagiques augmentent en nombre ; le sédiment tend à passer à une boue calcaire et argileuse. Ces boues et sables volcaniques sont gris, bruns ou noirs ; leur aspect est variable suivant les points où ils se déposent et suivant la nature des roches dont ces minéraux dérivent. Dans quelques régions ils passent aux boues bleues et vertes ; ou aux boues ou sables coralliens. Lorsque la profondeur augmente, on les voit passer aux dépôts pélagiques normaux.

**Boue volcanique.** On a décrit en détail 38 échantillons de boues volcaniques recueillies par le *Challenger*. Ils proviennent de profondeurs comprises entre 260 et 2800 brasses (moyenne 1033 brasses). En tenant compte de la profondeur, voici comment se répartit le carbonate de calcium :

Échantillons d'une profondeur inférieure à 500 br.	24.69 p. c. $CaCO_3$
" " entre 500 et 1000 br.	26.04 p. c. "

Echantillons d'une profondeur de 1000 à 1500 br.	20.34 p. c. $\text{CaCO}_3$
" " " 1500 à 2000 br.	31.30 p. c. "
" " " 2000 à 2500 br.	traces "
" " " supérieure à 2500 br.	traces "

Les foraminifères pélagiques donnent à ce sédiment une teneur moyenne de 10.50 p. c.  $\text{CaCO}_3$ , les foraminifères du fond, 2.82 p. c., les restes calcaires d'autres organismes, 7.17 p. c.

Le *résidu* s'élève en moyenne à 79.51 p. c., il est généralement brun ou noir, les organismes siliceux peuvent former 1.82 p. c. On n'a pas observé de glauconie type, ni de moules glauconitiques d'organismes dans les boues volcaniques. — Les *minéraux* ont une teneur moyenne de 40.82 p. c.; presque toujours anguleux; diamètre moyen 0.11 mm., le quartz y est rare. — Les *particules amorphes* ont un pourcentage moyen de 36.87 p. c.

Voici la composition moyenne des échantillons de boues volcaniques recueillis par le *Challenger*.

$\text{CaCO}_3$	Foraminifères pélagiques . . .	10.50
	Foraminifères du fond . . .	2.82
	Autres organismes . . .	7.17 20.49
Résidu	Organismes siliceux . . .	1.82
	Minéraux . . .	40.80
	Particules amorphes . . .	36.89 79.51
		100.00

**Sable volcanique.** On a décrit 7 échantillons de sable volcanique. On les a observés en des points où les particules des sédiments peuvent être déplacées par l'action des vagues et des courants qui entraînent dans des eaux plus profondes et plus tranquilles les matières de très petite dimension. C'est ainsi que les sables diffèrent surtout des boues volcaniques par l'absence de matières très fines, argileuses ou calcareuses, si abondantes dans ces boues. Les sables volcaniques que nous avons décrits sont à une profondeur moyenne de 243 brasses. Le pourcentage de  $\text{CaCO}_3$  est en moyenne de 28.79 p. c.

Le *résidu* est noir ou brun, sa teneur moyenne est de 71.21 p. c. Les *organismes siliceux* y jouent un rôle subordonné (1.40 p. c. moyenne). Les *minéraux* ont un pourcentage de 60.00 p. c. Les *particules amorphes* varient de 2.35 à 18.16 p. c.

Le tableau suivant montre la composition moyenne de ces échantillons de sable volcanique :

CaCO <sub>3</sub>	Foraminifères pélagiques . . .	13 00	28.79
	Foraminifères du fond . . .	3.80	
	Autres organismes . . .	11.99	
Résidu	Organismes siliceux . . .	1.40	71.21
	Minéraux . . .	60.00	
	Particules amorphes . . .	9.81	
			100 00

En comparant ce tableau au précédent, on voit que dans les sables volcaniques les minéraux jouent un rôle beaucoup plus important que dans les boues de même nom ; dans ces dernières les matières amorphes ont une teneur beaucoup plus élevée.

Les *minéraux* des boues et sables volcaniques varient évidemment suivant la composition minéralogique et la structure des roches volcaniques ou du volcan dont elles sont dérivées. Les minéraux les plus caractéristiques sont la sanidine, les plagioclases, l'augite, la hornblende, les pyroxènes rhombiques, le périclase et la magnétite. Parmi les lapilli, les plus fréquents sont ceux de roches basaltiques ou andésitiques, beaucoup de fragments sont palagonitisés. Les échantillons de ponce qu'on y rencontre peuvent avoir été apportés de grandes distances ou provenir des régions volcaniques voisines.

Ces sédiments, boues et sables volcaniques, occupent environ 1,942,000 kilomètres carrés. Dans ce chiffre, les aires des îles volcaniques sont comprises.

**Boue et Sable coralliens.** Autour des îles et des récifs coralliens, les dépôts sont surtout formés par des restes d'organismes qui vivent dans les eaux peu profondes ou sur les récifs : algues calcaires, coraux, mollusques, polyzoaires, échinodermes et foraminifères. Ces fragments constituent un sable grossier ou un gravier qui s'étalent dans les eaux moins profondes. Mais au delà de la limite de l'action des vagues, on a une boue fine formée par des particules très petites unies à beaucoup de matière calcaire amorphe. Lorsque la profondeur augmente et à une distance plus grande des terres, les coquilles de ptéropodes, d'hétéropodes et de foraminifères deviennent plus abondantes et finissent par faire passer les boues corallienes à la vase à ptéropodes ou la vase à globigérines.

**Boue corallienne.** 16 échantillons de boue corallienne ont été décrits en détail. Leur profondeur moyenne est de 740 brasses. Elles sont blanchâtres, leur teneur très élevée en CaCO<sub>3</sub> monte en moyenne à 85.53 p. c. Le carbonate de calcium provient des foraminifères pélagiques.

giques (moyenne 31.27 p. c.), des foraminifères du fond (moyenne 14.64 p. c.). Les autres organismes fournissent en moyenne 39.62 p. c. de  $\text{CaCO}_3$ .

Le *résidu* est brun ou rougeâtre (moyenne 14.47 p. c.); il renferme quelques *organismes siliceux* peu abondants (1.36 p. c. en moyenne). Le résidu est surtout formé de matières argileuses, d'oxyde de fer, de particules minérales généralement d'origine volcanique. Ces *minéraux*, toujours anguleux, ne forment en moyenne que 1 p. c. Les *particules amorphes* ont une teneur plus élevée, leur pourcentage moyen est de 12.11 p. c.

Le tableau suivant montre la teneur moyenne en particules amorphes et en minéraux, ainsi que la dimension moyenne de ces derniers pour chaque groupe de 100 brasses. On voit que les particules amorphes augmentent avec la profondeur.

		MINÉRAUX	DIMENSIONS	PARTIC. AM.
Profondeurs inférieures à 500 br.		1 p. c.	0.065 mm.	9.96 p. c.
„ de 500 à 1000 br.		1 p. c.	0.060 mm.	8.64 p. c.
„ „ 1000 à 1500 br.		1 p. c.	0.077 mm.	13.41 p. c.
„ supérieures à 1500 br.		1 p. c.	0.067 mm.	14.88 p. c.

On peut rendre de la manière suivante la composition moyenne des échantillons de boue corallienne :

$\text{CaCO}_3$	Foraminifères pélagiques . . .	31.27	
	Foraminifères du fond . . .	14.64	
	Autres organismes . . .	39.62	85.53
Résidu	Organismes siliceux . . .	1.36	
	Minéraux . . .	1.00	
	Particules amorphes . . .	12.11	14.47
			100.00

**Sables coralliens.** On a étudié 5 échantillons de sables coralliens. Ils diffèrent des boues corallienes, parce que les particules amorphes sont moins abondantes que dans les boues, et les fragments d'organismes plus volumineux. On trouve ces sables à une profondeur moyenne de 176 brasses. Leur couleur est blanc plus ou moins pur. La composition moyenne des échantillons de sables coralliens recueillis par le *Challenger* peut être rendue de la manière suivante :

$\text{CaCO}_3$	Foraminifères pélagiques . . .	36.25	
	Foraminifères du fond . . .	20.00	
	Autres organismes . . .	30.59	86.84
Résidu	Organismes siliceux . . .	5.00	
	Minéraux . . .	3.75	
	Particules amorphes . . .	4.41	13.16
			100.00

L'analyse montre que la composition chimique répond à ce que l'examen macroscopique et microscopique permettait de conclure. L'acide carbonique est combiné à la chaux et à la magnésie : la teneur très faible en fer et en alumine, et les traces de silice et d'autres substances montrent qu'il ne doit y avoir que relativement peu de particules minérales dans le sable corallien.

Les boues et les sables coralliens recouvrent de vastes aires dans toutes les régions coraliennes. On peut évaluer la surface qu'elles occupent à 6,993,000 kilomètres carrés, en y comprenant les aires des eaux basses et celles occupées par les lagunes et les canaux. La région corallienne du Pacifique est de loin la plus étendue ; on a évalué qu'elle s'étale sur environ 3,885,000 kilomètres carrés. Dans l'Atlantique cette aire est approximativement de 2,072,000 kilomètres carrés, et dans l'Océan Indien elle est de 1,036,000 kilomètres carrés environ.

### III. — DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE ET BATHYMÉTRIQUE DES DÉPÔTS DE MER PROFONDE.

La carte qui accompagne ce résumé d'un des chapitres de notre mémoire est destinée à représenter d'une manière synoptique la distribution géographique et bathymétrique des dépôts de mer profonde. Pour indiquer les limites et l'étendue de chacun des sédiments on a mis en œuvre tous les renseignements qu'on possède aujourd'hui ; tous les documents recueillis par les grandes expéditions sous-marines ont été utilisés. Il est incontestable qu'il reste une certaine part à faire à l'hypothèse dans la manière dont la distribution de certains types a été figurée. Nous sommes les premiers à ne pas ignorer quelles sont les régions océaniques où les sondages manquent ; c'est le cas en particulier pour les parties septentrionales et orientales du Pacifique et pour l'Océan du Sud sous le 50° lat. S. Lorsque la profondeur d'une région océanique est connue et que la nature d'un certain nombre d'échantillons provenant de cette région a été établie avec exactitude, on peut indiquer avec une grande probabilité quel doit être le dépôt sur toute l'aire considérée. Si des recherches ultérieures venaient à montrer qu'en certains points de ces régions, les profondeurs diffèrent de celles données sur la carte, on devrait conclure que pour ces régions la nature des dépôts est différente de celle que nous avons indiquée. Mais il est nécessaire de ne pas perdre de vue que les connaissances relatives aux profondeurs marines se sont enrichies récemment d'une manière inespérée, et que nous avons pu utiliser de nouveaux sondages faits en

grand nombre dans tous les océans et dans toutes les mers intérieures (1). Il ne paraît pas probable que des recherches futures apportent de grandes modifications à l'évaluation de la profondeur moyenne des océans. Cependant les courbes bathymétriques subiront des déplacements et on découvrira certainement beaucoup de petits cônes sous-marins s'élevant au-dessus du niveau moyen de la dépression qui constitue le lit des océans.

Pour construire cette carte on a étudié des milliers d'échantillons de dépôts terrigènes recueillis à de faibles profondeurs dans presque tous les océans et dans les mers fermées. On a examiné plus de 2000 échantillons de dépôts pélagiques de profondeurs supérieures à 1000 brasses, 1600 de ces sédiments des grandes profondeurs ont été recueillis dans l'Atlantique, 300 dans l'océan Indien, 400 dans le Pacifique. Dans certains cas, lorsque nous n'avons pas pu étudier l'échantillon, les renseignements fournis par les officiers hydrographes et les ingénieurs des télégraphes sous-marins permettent d'indiquer la nature du sol de l'Océan pour un point déterminé. La carte qui représente les sédiments des mers profondes et le tableau qui suit sont établis sur un

(1) Outre les matériaux recueillis par le *Challenger*, nous avons étudié, en vue de la construction de cette carte, les collections du *Tuscarora*, États-Unis, Pacifique, 1873-78, du *Gettysburg*, États-Unis, Atlantique 1876, du *Blake*, États-Unis, mer des Antilles, golfe de Mexico, côtes est de l'Amérique 1877-82, du *Silvertown, International, Dacia, Buccaneer*, India-rubber, Gutta-percha, and Telegraph Work's Company, Silvertown 1884-86, le long des côtes ouest d'Afrique, autour des îles du Cap Vert et des îles Canaries et dans les Antilles. Nous avons examiné en outre de grandes collections recueillies par les navires de Telegraph Construction and Maintenance Company 1879-85, le long des côtes est de l'Afrique, dans l'océan Indien, dans l'est du Pacifique, dans le sud et le nord de l'Atlantique. Signalons encore les collections importantes qui nous furent remises par l'Hydrographe de l'Amirauté et qui proviennent des navires hydrographes de sa Majesté Britannique : *Sylvia*, mer Rouge, 1886, *Seine*, océan Indien, 1885, *Egeria*, océan Indien, 1887, et sud du Pacifique, 1887-89 ; *Myrmidon*, mer des Coraux 1887 ; *Rambler*, océan Pacifique, océan Indien 1888-90 ; *Valorous*, nord de l'Atlantique 1870-75 ; *Investigator*, Baie de Bengale, océan Indien 1886-89 ; *Alert*, sud du Pacifique, 1880 ; *Flying Fish*, océan Indien, 1887 ; *Stork*, océan Indien, 1888 ; *Triton*, canal des Féroé et mer du Nord, 1882-84 ; *Bulldog*, nord de l'Atlantique, 1860 ; *Porcupine*, nord de l'Atlantique, 1869-70 ; *Lightning*, nord de l'Atlantique, 1868 ; *Nassau*, océan Indien, 1876 ; *Argus*, nord Atlantique, 1879 ; *Swallow* et *Dove*, mer Jaune, 1865-66, *Dart*, océan Pacifique, 1857. Nous avons reçu en outre, ou nous avons eu l'occasion d'examiner les échantillons de l'expédition norvégienne du nord de l'Atlantique, de l'expédition de Nares, au pôle nord, de l'expédition Antarctique de Ross, du *Talisman*, du *Gazelle*, du *Hassler*, des expéditions organisées par U. S. Fish Commission.

nombre si considérable d'observations certaines qu'il paraît probable que des recherches futures n'en modifieront pas les grandes lignes.

On a évalué la surface du globe à 510,076,400 kilomètres carrés, la terre ferme occuperait environ 139,034,800 kilomètres carrés et l'océan 371,041,600 kilomètres carrés. L'aire occupée par chacun des types des dépôts marins sur le lit de l'Océan et leur profondeur moyenne sont indiquées dans le tableau suivant :

	Profond. moyenne en brasses.	Aire en kilom. car.
Dépôts littoraux entre la haute et la basse marée. . . . .		161,900 aire
Dépôts depuis la marée basse jusqu'à la courbe de 100 brasses . . . . .		25,900,000
Dépôts terrigènes de la zone littorale profonde	Boue corallienne . . . . . 740 Sable corallien . . . . . 176 Boue volcanique . . . . . 1033 Sable volcanique . . . . . 243 Boue verte . . . . . 513 Sable vert . . . . . 449 Boue rouge . . . . . 623 Boue bleue . . . . . 1411	6,622,100 1,554,000 2,201,500 259,000 37,555,000
Dépôts pélagiques	Vase à ptéropodes . . . . . 1044 Vase à globigérines . . . . . 1996 Vase à diatomées . . . . . 1477 Vase à radiolaires . . . . . 2894 Argile rouge . . . . . 2730	1,036,000 128,256,800 28,179,200 5,931,100 133,385,000

**PLANCHE IV.**

## EXPLICATION DE LA PLANCHE IV.

**Charbons du Pas-de-Calais** (fig. 1-2); **Cannel coal d'Écosse** (fig. 3-4);  
**Boghead et Schistes bitumineux d'Autun** (fig. 5-17).

- FIG. 1. — Morceau de charbon de la veine Marquin. Hardingen. Pas-de-Calais.
- FIG. 2. — Escaillage de Liévin. Pas-de-Calais.
- FIG. 3. — Cannel coal d'Écosse avec zone sidérisifiée.
- FIG. 4. — Cannel coal d'Écosse avec lentille de charbon brillant.
- FIG. 5. — Section transversale d'un morceau de boghead d'Autun, vue par transparence,
- FIG. 6. — Section transversale d'un morceau de boghead d'Autun avec une grande infiltration horizontale de thélotite. D'après une lame transparente.
- FIG. 7. — Section radiale du même échantillon, au même point.
- FIG. 8. — Section transversale d'un morceau de boghead d'Autun montrant la coupe d'un nodule siliceux en place. Le nodule a troué le boghead et pénètre dans le schiste recouvrant.
- FIG. 9. — Section transversale d'un morceau de boghead d'Autun montrant un nodule siliceux en plein banc.
- FIG. 10. — Nodule siliceux du boghead d'Autun. Profil gauche.
- FIG. 11. — Cassure transversale d'un autre nodule isolé.
- FIG. 12. — Section transversale d'une lentille de faux boghead du banc barré d'Autun. Cette zone est à 0<sup>m</sup>,75 au-dessus du boghead. D'après des plaques transparentes.
- FIG. 13. — Section verticale d'un morceau de schiste bitumineux avec coprolithes. — Autun.
- FIG. 14. — Section verticale d'un morceau de schiste bitumineux avec nodules à *Gloioconis Borneti*. — Autun.
- FIG. 15. — Surface supérieure d'un nodule à *Gloioconis Borneti*.
- FIG. 16. — Profil d'un nodule à *Gloioconis Borneti*.
- FIG. 17. — Section verticale d'un morceau de schiste à *Protriton Petrolei*. Autun.

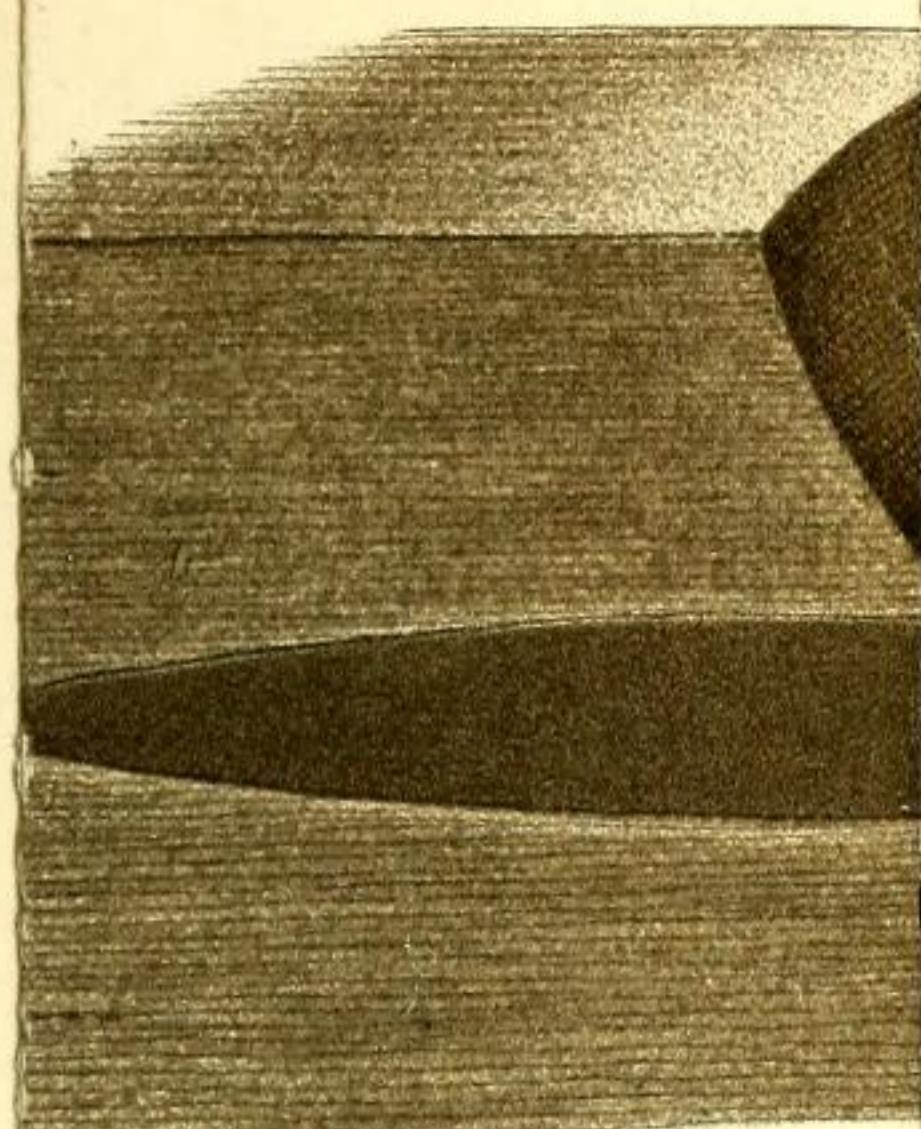


Fig. 4.

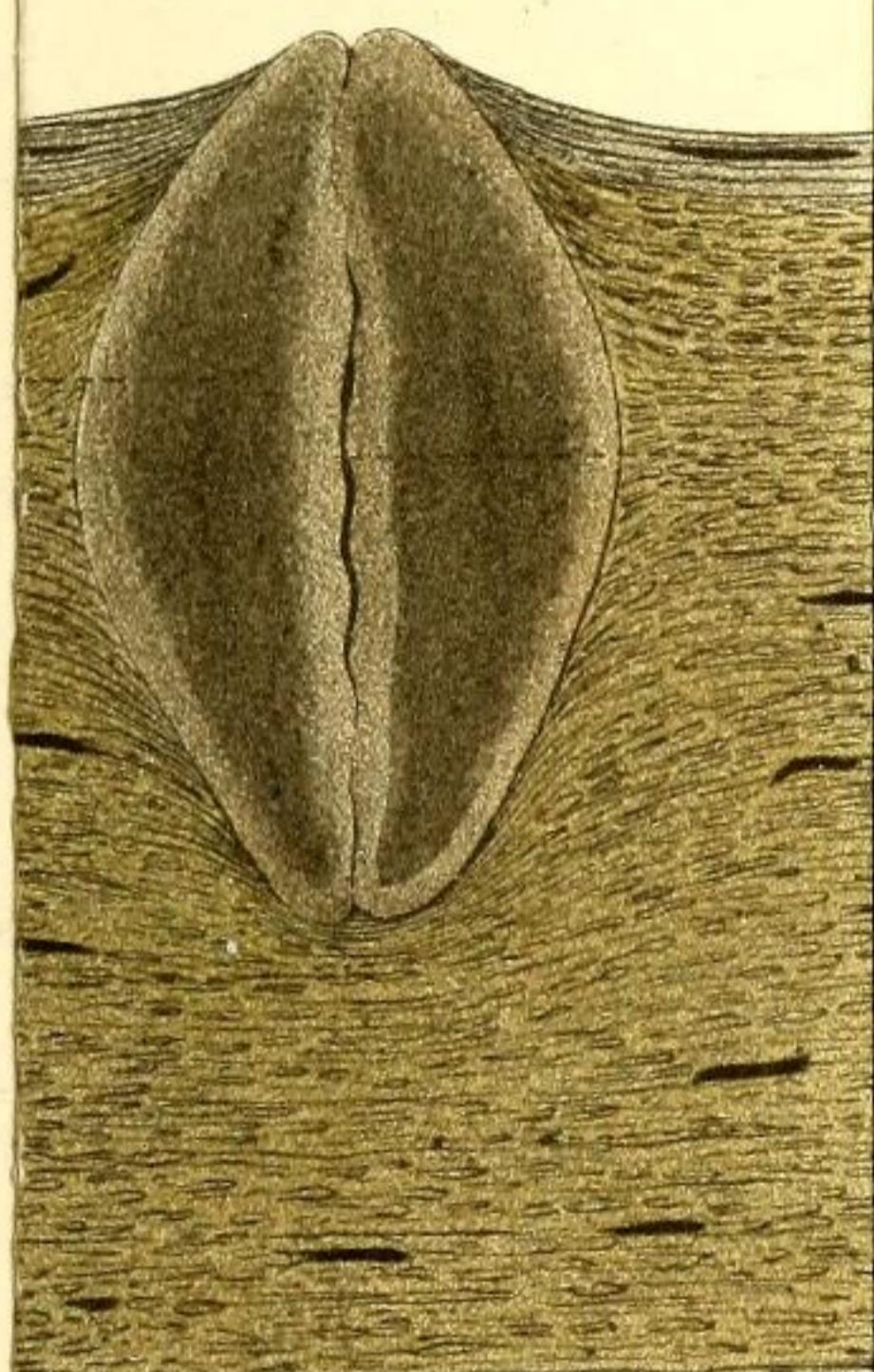
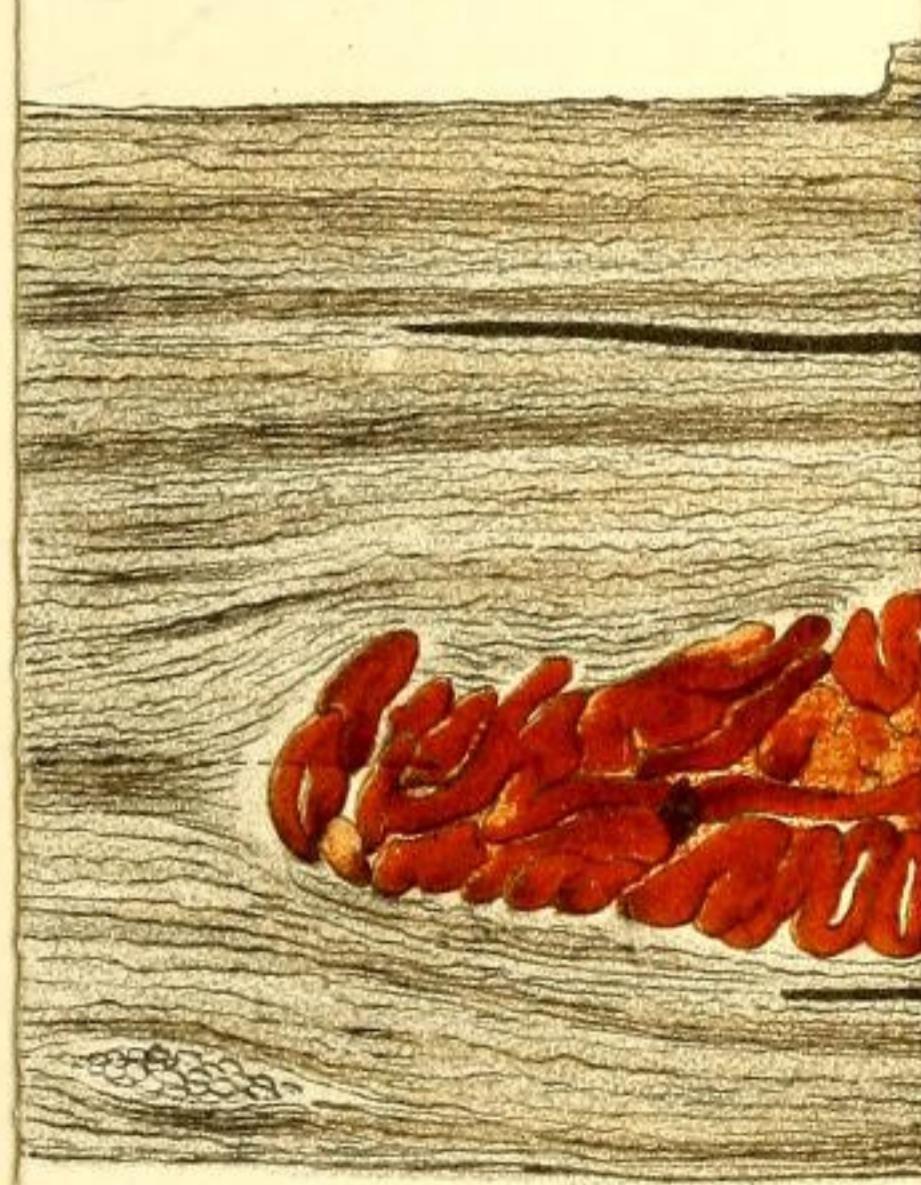


Fig. 8. 15



TERRE

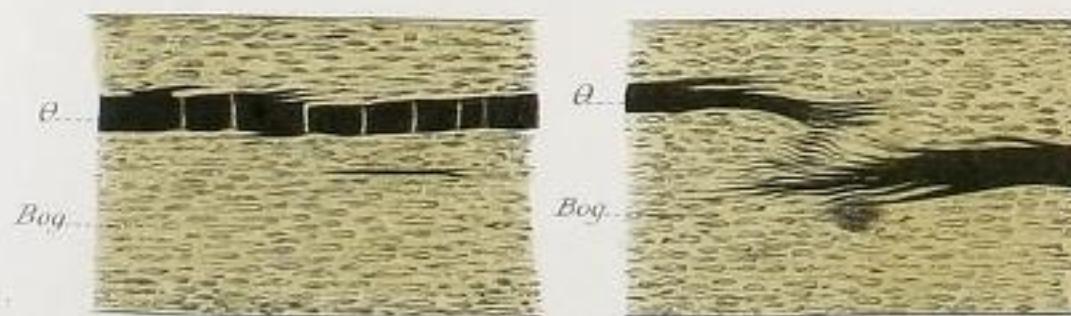
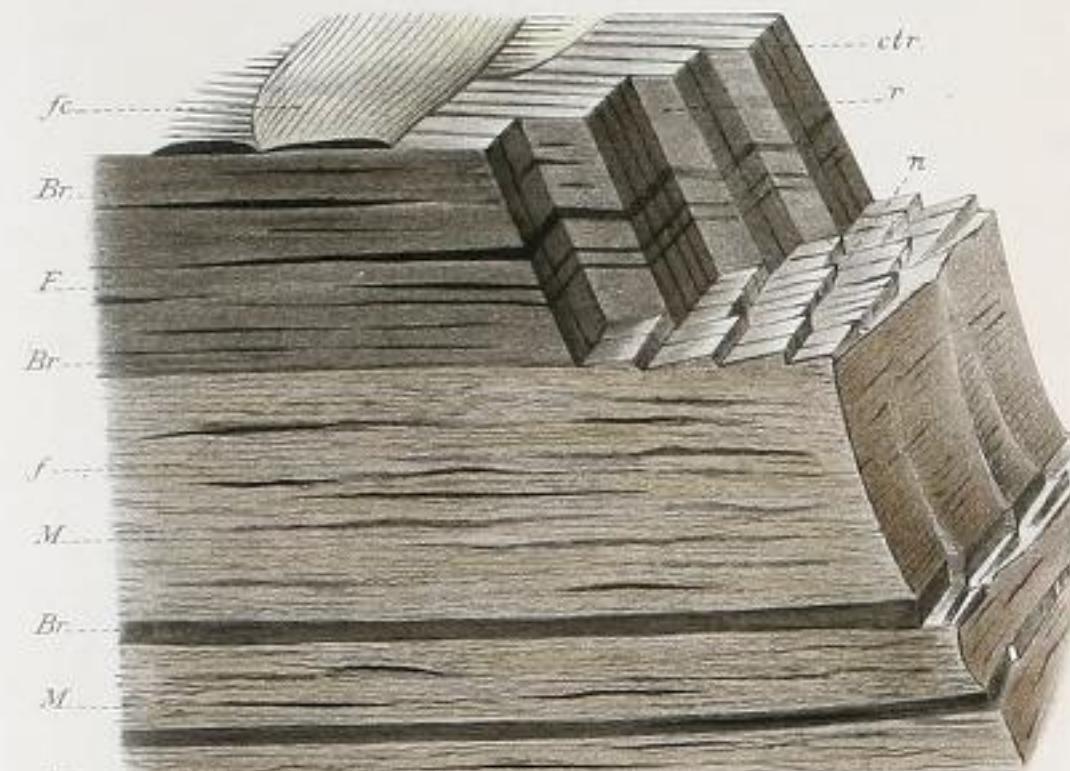


Fig. 6. 37

Fig. 7. 37

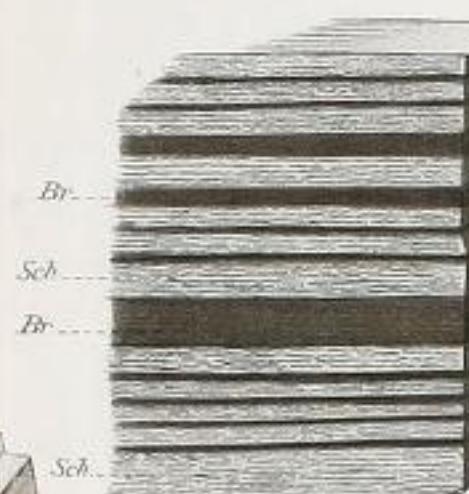


Fig. 2. 37

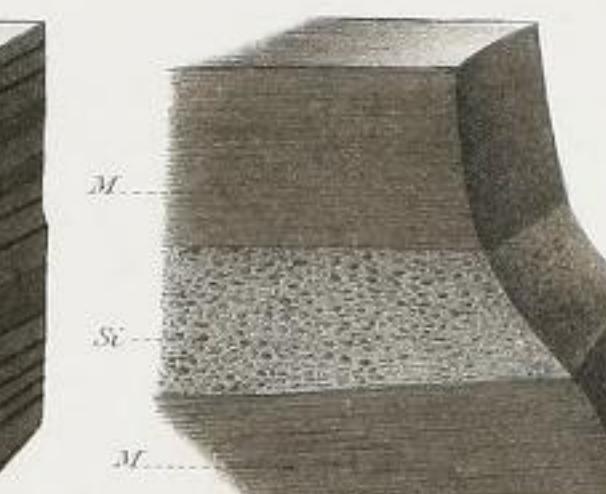


Fig. 3. 37

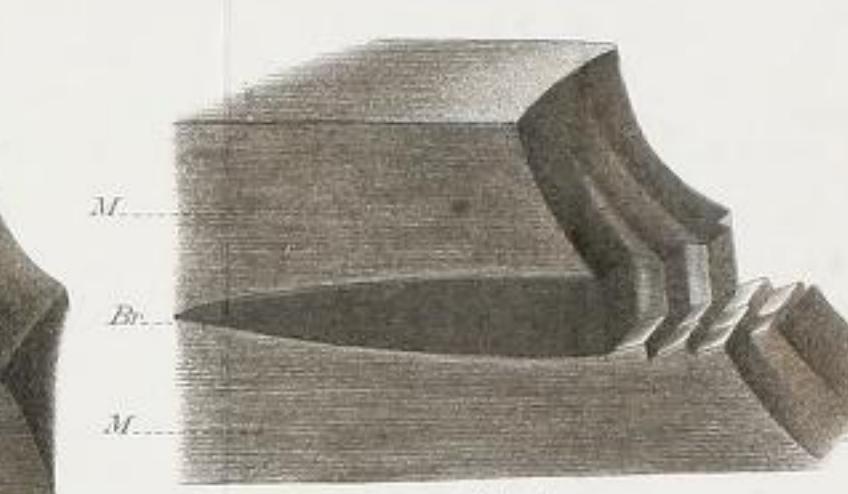


Fig. 4. 37



Fig. 12. 37

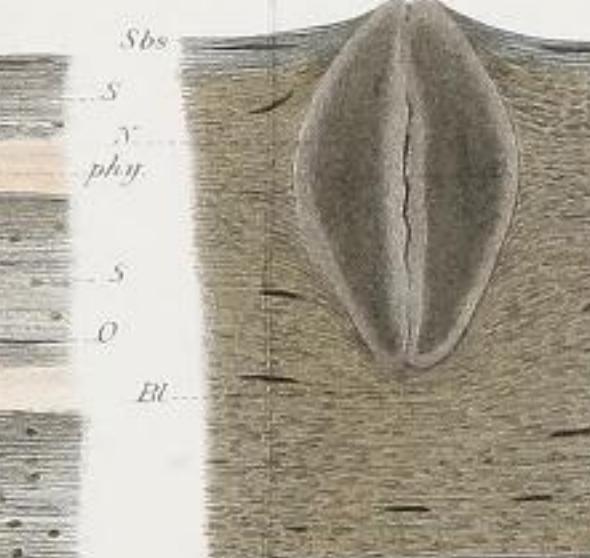


Fig. 8. 37

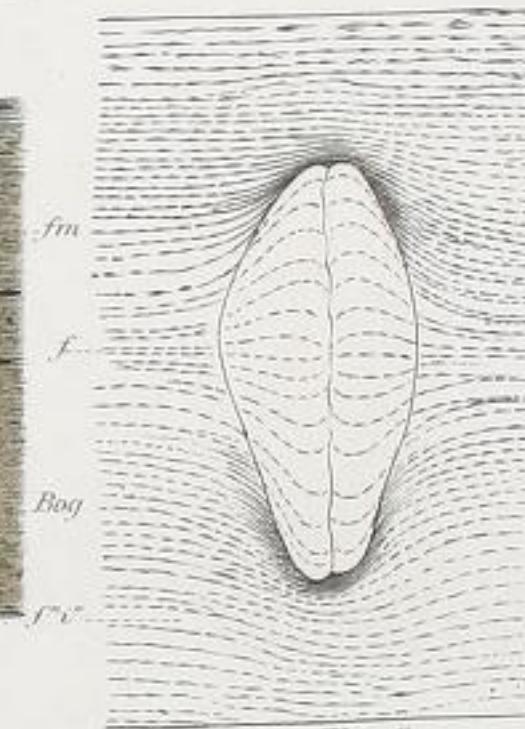


Fig. 9. 37



Fig. 13. 37

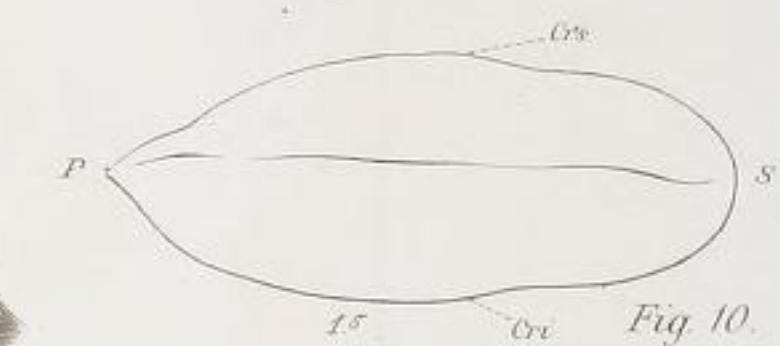


Fig. 10.



Fig. 14. 37

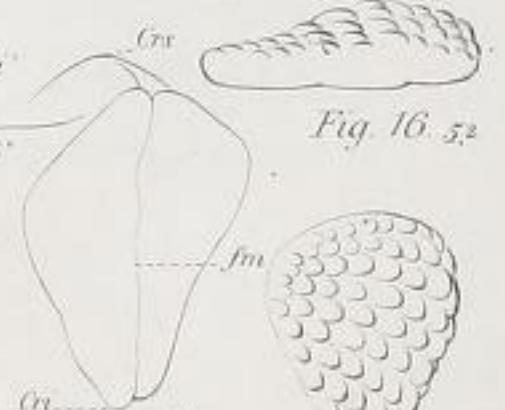


Fig. 16. 37

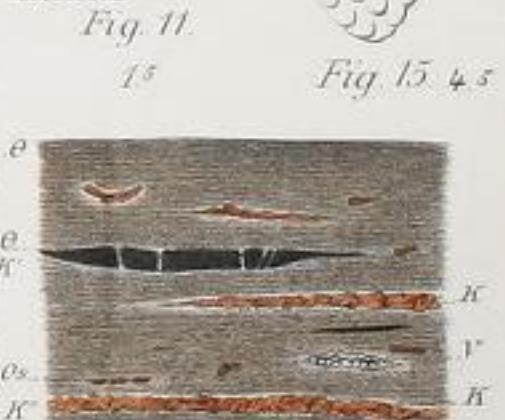


Fig. 15. 45



Fig. 17. 37