

# L'origine des récifs coralligènes

Autor(en): **Feuilletau de Bruyn, W.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **54 (1921-1922)**

Heft 202

PDF erstellt am: **18.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-270905>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## L'origine des récifs coralligènes,

PAR

W. FEUILLETAU DE BRUYN

Les zoologues, géologues, géographes et océanographes ont essayé de résoudre le problème extrêmement compliqué de l'origine des récifs coralligènes.

Ce problème a depuis longtemps embarrassé les naturalistes. En effet, la forme annulaire des atolls, qui a tant frappé l'imagination des voyageurs, demande une explication. En outre on sait que les coraux constructeurs des récifs ne peuvent vivre au-dessous d'un certain niveau dans la mer (30 à 90 mètres suivant les auteurs). Or certaines îles coralligènes ont une épaisseur de plusieurs centaines de mètres. Comment alors expliquer leur formation ? C'est à quoi se sont attachés les auteurs des théories sur l'origine des récifs.

La plupart de ces savants ont eu tendance à faire prévaloir dans leurs recherches les données de leur branche spéciale.

Et en effet chaque groupe de savants a traité le problème d'un point de vue spécial. Presque tous se sont laissés entraîner par le tourbillon de leurs idées, leurs propres observations et ont cru qu'il était possible d'expliquer l'origine des récifs par une seule hypothèse. Seul le grand maître Darwin, tout en admettant la submersion comme cause principale de la formation des atolls, a postulé que les récifs peuvent avoir une origine différente. Il ne conteste pas du tout la possibilité d'un changement du niveau, quelle qu'en soit la cause. Une période de submersion peut selon lui faire place à un stade de stabilité ou à un soulèvement.

On pourrait classer les hypothèses proposées en trois grands groupes :

- 1° Celles basées sur la submersion de l'écorce terrestre.
- 2° Celles fondées sur la stabilité de l'écorce terrestre.
- 3° Celles qui invoquent un soulèvement régional ou local.

Tous les géologues sont d'accord qu'une certaine partie de la croûte terrestre peut passer pendant l'histoire géologique par ces stades différents. Mais si personne ne conteste cette vérité, il faut bien

que le problème de l'origine des récifs présente une grande variabilité.

La discussion sur les récifs coralligènes a fleuri surtout dans des villes situées à des milliers de kilomètres du terrain de recherche. « Ceux qui discutent la géologie des coraux n'ont probablement jamais touché un corail vivant » (29, p. 397). C'est peut-être pourquoi la littérature sur les coraux est d'une opulence si prodigieuse.

Commençons avant d'exposer les différentes théories sur l'origine des récifs par un résumé sommaire des caractères principaux des récifs coralligènes.

Les récifs coralliaires sont le résultat d'une association d'animaux et plantes, dont les coraux sont les principaux éléments. Environ 60 % et même plus du calcaire de certains récifs est formé par des Lithothamnies, et M. Vaughan (48, p. 289) admet que dans la plupart des récifs la quantité de calcaire formé par les algues calcaires est égale à celle des coraux.

Un récif coralligène est donc plutôt une unité biologique dans laquelle les coraux forment le squelette.

Comme limite moyenne à laquelle les coraux peuvent vivre, M. Vaughan (48, p. 240) admet une profondeur d'environ 45 mètres. Enfin la température minimum à laquelle l'unité biologique peut encore exister serait 19,75° selon M. Dakin (12, p. 138).

M. Carry (10 *a* et 10 *b*) a pu prouver que les spicules des Gorgonidés et Alcyonidés peuvent prendre une part très active dans la construction de certains récifs. Les oursins, mollusques, serpules, foraminifères jouent tous un rôle plus ou moins important dans la construction des récifs.

Enfin les recherches de M. Drew (20 *a*) et Kellermann (31 *a*) ont prouvé qu'une bactérie, « *Bacterium calcis* », joue un rôle important dans la précipitation du calcaire dissous ou en suspension dans l'eau de mer.

A part ces organismes constructeurs on rencontre dans les récifs coralligènes des organismes destructeurs. Certains mollusques (*Arca*, *Lithodomus*, etc.), certains algues, éponges et poissons jouent un rôle plus ou moins actif dans la destruction des récifs. Mais ce sont surtout les Holothuries, qui dévorent une quantité énorme de sable et détritiques coralligènes et qui sont un des facteurs les plus importants de la destruction des récifs.

L'existence d'un récif dépend donc en premier lieu des conditions œcologiques dans lesquelles ces organismes vivent. La croissance

des coraux ne dépend pas exclusivement de la nourriture disponible mais aussi de la salinité et pureté des eaux, de la vitesse de l'érosion marine, etc. Et en somme l'habitat de chaque récif n'est qu'un équilibre entre ces différents facteurs.

\* \* \*

Les notions de récif frangeant, récif barrière et atoll sont bien connues.

L'influence des courants sur la forme des récifs fut déjà signalée par Darwin (17, p. 163).

Plus tard Agassiz, Stanley Gardiner, Hedley-Taylor ont traité cette question et il paraît que M. Krampf<sup>1</sup> s'est occupé de ce problème dans une thèse non publiée de la Sorbonne.

Un courant continu peut déterminer la forme en croissant du récif.

Si un récif est parallèle aux courants principaux il conservera sa forme originelle. Mais si le récif se développe perpendiculairement au courant, les détritiques provenant de l'érosion marine seront déposés aux extrémités, en forme d'éperon.

Sur les endroits où se dépose le sable, les coraux ne peuvent pas prospérer ; ils reculent alors derrière ces éperons et ainsi s'établit la forme en demi-lune. Hedley et Taylor ont décrit la forme en croissant des îles du Grand Récif Barrière (29, p. 407). Agassiz (2) et Gardiner (24) la signalent aux Maldives. Les extrémités des éperons finissent par se toucher et ainsi se forme le « faro » (petit atoll) avec son « velu » (lagune) au milieu.

Murray (37, p. 512), Darwin, Agassiz et Gardiner admettent que la partie extérieure du récif croît plus rapidement que la partie intérieure. Murray a comparé cette croissance à celle d'une bague de fée qui s'élargit constamment.

Boehm (5, p. 504) et Martin (32) ont constaté que les coraux forment souvent une croûte peu épaisse sur des rochers préexistants. La constatation n'est pas nouvelle, car Darwin (17, p. 107) cite déjà l'observation d'Ehrenberg sur les coraux encroûtants de la mer Rouge, et on trouvera certainement en plusieurs endroits des croûtes pareilles. Pourtant il me semble que des couches calcaires d'une épaisseur de 20 à 300 mètres et plus ne peuvent plus

<sup>1</sup> Comptes Rendus sommaires. Soc. géol. de France, 1920, N° 17, p. 207-210.

être considérées comme des croûtes, et M. Boehm va un peu loin lorsqu'il propose d'éliminer les mots « récifs coralligènes » et « îles de coraux » de la science.

\* \* \*

Nous traiterons les différentes théories dans leur ordre chronologique.

1<sup>o</sup> *La théorie de Lyell, Ehrenberg et d'autres.*

Ces anciens auteurs admettent que les atolls n'étaient que des masses encroûtantes de coraux, tapissant des cratères sous-marins. Il est évident qu'on ne peut admettre l'existence d'une quantité de cratères ayant un diamètre de plusieurs dizaines de kilomètres. Mais aux îles Fiji, Agassiz a trouvé quelques exemples de ce genre d'atoll, par exemple Totoya.

2<sup>o</sup> *La théorie de Darwin-Dana.*

Darwin expliquait la formation des atolls par la submersion. Autour d'une île se formait d'abord un récif frangeant. Pendant la submersion continue de l'île, les coraux continuent à croître et le récif frangeant se transforme d'abord en récif barrière et plus tard en atoll. Mais il admettait aussi la possibilité d'une période stationnaire, accompagnée par une croissance vers l'extérieur du récif. Il signale (17, p. 195-197) l'existence de récifs récemment soulevés aux îles Sandwich, aux îles Cook, aux îles de la Loyauté, dans l'Insulinde, à Waigéou, Ambon, etc. Il n'hésite pas à signaler le récif de Stritchbury, soulevé jusqu'à 2000 mètres et le soulèvement d'un récif aux îles Pelau à 130 mètres (17, p. 258).

La plupart des auteurs actuels admettent la théorie de Darwin-Dana.

M. Davis a exagéré sur la valeur des données physiographiques, comme preuve de la submersion, c'est-à-dire qu'il s'est appuyé surtout sur la considération des formes topographiques dans les recherches sur l'origine des récifs.

Dana découvrit le principe du développement d'une côte dentelée déterminée par une submersion. Davis, alors, constata que la plupart des îles visitées par lui possèdent ce caractère dentelé significatif d'une submersion ; l'idée d'une submersion est confirmée encore par l'absence des deltas, et d'une île centrale à topographie

sénile, entourée de plaines alluviales. Un autre critère pour constater la submersion serait la discordance des couches coralligènes avec le substratum.

Mais ce critère n'est pas décisif, car si les couches se forment, par exemple, sur un anticlinal préexistant en voie de soulèvement, il y aura forcément une discordance.

Puis M. Davis admet un mouvement de l'écorce terrestre, tandis que le niveau de mer resterait stable (18, p. 250). Mais dans la considération du récif soulevé de Vanua Mbalavu il parle d'une « *welldefined horizontal stratification* ». Il sera plutôt exceptionnel que les couches horizontales de la lagune aient encore une position « horizontale bien définie » après un mouvement de la croûte terrestre et ce serait plutôt une preuve en faveur de la théorie de Daly qui admet l'oscillation du niveau de la mer. M. Davis n'a pas constaté du reste le contact du récif avec son soubassement et la discordance n'est que le résultat des observations physiographiques sur la topographie. Une telle observation, *non confirmée* par des autres preuves, a peu de valeur.

M. Davis constate que plusieurs récifs, par exemple aux îles Fiji, Nouvelles-Hébrides, etc. (18, p. 269) doivent s'être soulevés dans une période relativement récente, parce qu'ils ont été à peine attaqués par l'érosion. Il me semble qu'il est impossible de déterminer par ce critère, même approximativement, l'âge d'un récif soulevé. La vitesse d'érosion dépend de plusieurs facteurs : du climat, de la végétation, de la composition du calcaire, etc. Il est impossible de trancher par une exploration rapide telle que M. Davis l'a faite, une des questions les plus difficiles, c'est-à-dire d'âge des récifs coralligènes.

Les résultats du forage de Funafuti confirment la théorie de la submersion. Selon M. Skeats (44), les organisateurs du forage voulaient prouver que la théorie de Darwin est fautive ; et lorsque le forage prouvait le contraire, les savants chargés de l'examen du matériel furent empêchés de discuter librement ces résultats. M. Skeats a eu la bonne idée de demander l'opinion personnelle des divers savants et l'a publiée dans son article de l'*American Journal of Sciences*. Un des principaux résultats fut la constatation que les différents fossiles trouvés dans le sondage de Funafuti se trouvent à des profondeurs plus grandes que les limites où ils peuvent vivre actuellement.

Ainsi, par exemple, Halimeda, qui vit à présent jusqu'à 200 pieds fut constaté jusqu'à 660 pieds.

Jusqu'à 339 mètres aucun Orbitoïde et aucun fossile caractéristique du Tertiaire ne fut trouvé. La grande épaisseur de cette couche de calcaire coralligène prouve que l'hypothèse de Darwin est juste, parce que la limite extrême dans laquelle certains coraux constructeurs de récifs peuvent vivre est 90 mètres.

M. Cullis constatait que les cavités rencontrées dans toute l'épaisseur du récif sont tapissées par des couches de calcite fibreuse, de temps en temps alternant avec des couches de dolomie, qui doivent être considérées comme des précipités rapides de sursaturation qui ne sont possibles que dans les eaux peu profondes, ou dans la zone des marées. Skeats admet alors une submersion continue de Funafuti. On n'a pas trouvé à Funafuti la masse de calcaire d'âge tertiaire supposée par M. Agassiz, ni la plateforme postulée par Daly à une profondeur de 40 à 45 brasses.

M. Skeats en tire la conclusion que seule la théorie de Darwin est capable de donner l'explication de la structure de Funafuti.

### 3° *La théorie de Murray-Agassiz-Wharton-Gardiner.*

Semper fut le premier à émettre l'hypothèse que les atolls se formaient par la solution de la partie intérieure d'un plateau calcaire soulevé. Les auteurs signalés plus haut postulent tous la thèse de la formation des atolls par soulèvement et les différences ne concernent que certains détails.

M. Murray (37) admet que le soubassement de plusieurs atolls est formé par des volcans, qui peuvent être transformés par l'érosion marine en bancs sousmarins où les coraux s'installent. Mais il se peut aussi qu'un banc sous-marin s'accroisse par la pluie planctonique, dépôt consolidé plus tard par des éponges, alcyonaires, mollusques, etc.

La forme annulaire serait déterminée par une croissance plus rapide à l'extérieur des récifs. Le calcaire à la surface des récifs est enlevé par l'eau de pluie et l'érosion marine, et M. Murray admet que le mouvement de soulèvement peut être si lent qu'il est compensé par ces facteurs. Nous savons à présent que la solution proprement dite n'a pas lieu à une si vaste échelle que Murray l'admettait. Les recherches sur l'acidité des rivières de Tutuila, Samoa, etc. (33, p. 151) ont éliminé la possibilité d'une solution active par l'eau provenant des rivières.

Selon M. Agassiz (2, p. 30) tous les récifs ont été formés sur des proéminences du fond océanique déterminées soit par des roches

calcaires tertiaires, soit par des roches volcaniques, qui ont été modelées par l'érosion sous-marine. Souvent ces plateaux sont séparés par des canaux plus profonds. La forme annulaire des atolls serait déterminée par une différence de vitesse de croissance, par l'érosion marine et par les êtres perforateurs surtout pendant une période stationnaire du niveau de la mer.

M. Mayer (34) arrivait, dans ses recherches sur le récif de Pago-Pago sur l'action destructive des Holothuries, au résultat (plutôt stupéfiant pour le chef d'un laboratoire qui a mené pendant une dizaine d'années une lutte acharnée contre le « fantôme » (?) de la solution marine), qu'il disparaît chaque année, par les holothuries et l'érosion marine, quatre fois plus de calcaire que les coraux n'en produisent. Vis-à-vis de ces faits, M. Mayer admettait alors que l'influence des courants diminue et que les holothuries émigrent au fur et à mesure que la lagune devient plus profonde. Ces raisons ne sont pas tout à fait justes, car plusieurs holothuries vivent aussi sur le fond de la lagune, comme par exemple l'énorme *Stichopus vastus*.

Il me semble que les expériences de M. Mayer ont prouvé suffisamment l'influence des animaux destructeurs, et j'admets que la formation de certains atolls est déterminée par ce facteur.

M. Agassiz admet avec Wharton que la profondeur à laquelle l'action des vagues est sensible est déterminée par un changement brusque dans la pente. C'est jusqu'à 30 à 40 brasses que l'action des vagues se manifeste.

M. Wharton introduit dans la littérature la notion, du reste fautive (52), de l'uniformité du fond de la lagune. Il admet que des volcans qui s'élèvent au-dessus du niveau de la mer peuvent être tronqués jusqu'à une profondeur de 30 à 40 brasses, comme par exemple la Femme de Lot, au sud du Japon, et Smith Island. Sur les plate-formes ainsi formées s'installeraient les coraux.

Les idées de Stanley Gardiner ne diffèrent pas beaucoup de celles des auteurs signalés plus haut. La différence principale est que cet auteur admet une action sous-marine de l'érosion jusqu'à 200 brasses.

L'influence des courants marins profonds peut être importante. Selon les observations à bord du *Siboga* (50), on a trouvé des courants marins violents à 1595 m., près des îles Luciparia ; à 1264 m. (50, p. 104) au nord de Célèbes, à 2081 m. (50, p. 102) sur la côte du Banc de Siboga. Dès lors, la formation des proéminences sur les plateaux sous-marins par l'érosion n'est guère douteuse.

M. Agassiz admet encore qu'il est possible que des plateaux



calcaires d'une épaisseur considérable soient formés par la submersion lente d'une partie de la croûte terrestre. Dans ces masses calcaires tertiaires on peut rencontrer des couches coralligènes, mais elles n'ont rien à faire avec la formation des atolls. Ce n'est que par un soulèvement ultime que ces plateaux calcaires arrivent à la surface et que la forme annulaire est acquise par la solution, l'érosion marine, la croissance vers l'extérieur des coraux et la destruction par des animaux perforateurs.

Si l'érosion marine est trop énergique, l'anneau sera battu en brèche.

Constatons d'abord que l'âge tertiaire des plateaux signalés dans les travaux d'Agassiz (1, 2), est simplement imposé au lecteur, et que l'auteur n'en donne aucune preuve géologique ou paléontologique.

Dès lors, ces constatations n'ont qu'une valeur tout à fait hypothétique. Dans le forage de Funafuti, qui descendit jusqu'à 339 m., aucune couche tertiaire ne fut rencontrée. Pourtant, il n'y a aucun doute qu'une partie des calcaires qui forment le soubassement des atolls sont vraiment d'âge tertiaire. Dans le forage de l'île Christmas on a trouvé des orbitoïdes<sup>1</sup>.

Il est certain que la théorie d'Agassiz explique la formation de certains récifs, mais une application générale de la théorie pour expliquer l'origine des récifs est impossible. Pourtant il sera utile de considérer de plus près les arguments de M. Davis *contre* la théorie d'Agassiz (18, p. 230).

1. M. Davis constate d'abord que les falaises manquent généralement sur les îles coralliennes et que les plates-formes récifales sont insignifiantes. C'est probablement le cas pour les îles visitées par cet auteur, mais M. Agassiz signale à plusieurs endroits des falaises (1, pl. 106; 3, pl. 109, 110, 113, etc.). Aux Iles Schouten, qui se trouvent actuellement dans une période stationnaire, je les ai rencontrées partout.

Quant à la largeur des plates-formes, elles peuvent avoir des dimensions différentes. J'ai constaté aux Iles Schouten des largeurs variant de moins d'un mètre à plusieurs centaines de mètres. Davis (19, p. 200) signale au S.-W. de Pelawan, à Yap, etc., des longueurs de 3 à 5 km. Darwin (17, p. 31) admet des largeurs moyennes d'environ 500 m., mais signale aussi des largeurs de 5 km. (17, p. 34). Louis Agassiz signale des largeurs jusqu'à 3 km., etc.

<sup>1</sup> Selon M. Répelin (XLIII, p. 237), le calcaire soulevé de quelques récifs pacifiques serait d'origine tertiaire.

2. M. Davis constate que la profondeur de plusieurs lagunes est plus grande que celle des plates-formes sous-marines, qui subissent l'érosion et qui possèdent les mêmes dimensions en largeur. Ce critère n'a pas de valeur, car dans une lagune les courants marins agissent de toute autre façon que sur un banc ouvert. Il est évident que des courants de  $4\frac{1}{2}$  à 8 milles, comme Agassiz les a constatés à Rangiroa (1, p. 33), à Rorsia (1, p. 97) et à Hao (1, p. 113), doivent avoir une grande influence sur le modelé du fond des lagunes.

3. M. Davis constate que les presqu'atolls n'auront pas de falaises développées. Il entend par ce terme désigner des atolls en voie de formation, dont l'île centrale a presque disparu sous les flots. Cette île devrait selon lui présenter des falaises, si la théorie d'Agassiz était exacte. Mais il me semble que l'auteur oublie que l'érosion marine *dans* la lagune est peu importante et que l'érosion subaérienne est le principal facteur qui détermine la morphologie de l'île centrale.

4. M. Davis dit que jusqu'à présent on n'a pas pu donner une raison suffisante pour expliquer le fait que les récifs ne se fixent pas pendant l'érosion de la plate-forme sous-marine. M. Agassiz n'a jamais affirmé ce fait. Au contraire ! Dans sa description des Maldives, il a insisté sur la conclusion que les coraux peuvent se fixer sur toute surface favorable, donc aussi sur des plates-formes en voie de formation.

5. M. Davis constate qu'on n'a pas trouvé des récifs soulevés formés de masses encroûtantes sur la partie extérieure des bancs rocheux, largement érodés.

Nous pouvons renvoyer le lecteur aux remarques faites à propos des opinions de M. Boehm et Martin.

Il me semble que les arguments de M. Davis manquent de force. J'admets la possibilité de la théorie de M. Agassiz pour l'origine de certains récifs, mais pas pour tous les récifs. Les travaux classiques sur la morphologie des récifs de cet auteur ont une grande valeur pour l'étude des constructions coralligènes.

#### 4. *La théorie de Daly et celle de Vaughan.*

Daly (14, p. 159) admet un refroidissement des eaux sur toute la surface terrestre pendant la glaciation quaternaire. Une diminution de  $5^{\circ}$  aurait suffi pour « donner la victoire aux vagues dans leur bataille contre les récifs protecteurs ». Lorsque ce rempart protecteur fut détruit, l'érosion marine attaqua la terre et forma de larges plateaux continentaux. Pendant la glaciation une grande quantité

d'eau fut absorbée par les calottes glaciaires, et l'attraction par les masses glaciaires accentuait encore un abaissement du niveau dans les tropiques. Après la glaciation, le niveau de la mer tropicale est monté de nouveau et le réchauffement des eaux des tropiques a permis aux Planules provenant des coraux qui avaient échappé au massacre, de quitter les baies abritées où ils avaient hiberné et de se fixer sur les plates-formes, envahies de nouveau par la mer.

Daly admet des mouvements locaux de l'écorce terrestre d'environ  $3\frac{1}{2}$  m., mais en général, selon lui, le fond des mers à coraux fut stable pendant tout le Tertiaire supérieur et le Quaternaire.

En se basant sur cette stabilité du fond, Daly conclut (14, p. 172) qu'« une revision des données l'a conduit à admettre un mouvement positif de 50 à 60 m. (27 à 33 brasses) ».

Or, l'érosion marine se fait sentir d'une façon considérable jusqu'à une profondeur de 20 à 40 m. et ainsi les limites de profondeur des plateaux formés par la glaciation seraient de 75 à 115 m.

Daly (15, p. 69) constate que le changement brusque marqué sur les cartes à l'isobathe de 200 m. est faux, parce que ce changement a lieu à 75 m.

Les récifs actuels ne sont que des formations secondaires sur les plates-formes d'âge postglaciaire.

« Certains traits capitaux, dit-il, sont inexplicables par la théorie d'affaissement, mais bien par la théorie glaciaire (15, p. 71) ». Parmi ces faits, on trouve les postulats suivants :

1° La jeunesse évidente des espèces coralliennes constructrices de récifs situés en plein Océan ;

2° Le fait que le fond de la lagune est uni ;

3° La presque égalité des profondeurs des lagunes de tous les parages à récifs ;

4° La correspondance frappante entre la profondeur des lagunes et celle que l'on constate pour les bancs sans récifs.

Aucun de ces postulats n'est juste.

1. Aucun des spécialistes sur les coraux fossiles n'a défendu le point de vue de M. Daly. Au contraire, Vaughan, le meilleur connaisseur des coraux fossiles et récents, nie carrément la destruction d'une grande partie de la faune coralligène pendant la glaciation.

2 et 3. M. Davis (18, p. 237) a prouvé que l'unité du fond de la lagune est une fiction. Les tabelles données par Daly (41 p. 187-192) prouvent que seulement un cinquième des soixante lagunes qu'il cite ont une profondeur de 45 brasses ou plus, tandis que la profondeur moyenne varie de 20 à 40 brasses (35 à 76 m.).

4. Nous avons signalé plus haut que M. Davis a constaté (p. 157), juste le contraire.

Vaughan (48, p. 319) constate que tous les récifs, loin des côtes de l'Amérique, ont été formés sur des plates-formes, sauf ceux de la côte S.-W. de Barbados. Ils manquent là où les plates-formes n'existent pas. Aucune des plates-formes américaines ne fut formée par la sédimentation derrière des barrières.

Vaughan pense que la formation des *récifs fossiles* est déterminée par des mouvements de l'écorce terrestre. Mais pour les récifs vivants, il admet une submersion générale dans les tropiques due à la déglaciation.

Enfin, Vaughan n'admet pas une destruction de la faune coralligène pendant la glaciation.

Considérons de plus près la théorie de Daly.

La température s'est-elle abaissée dans les tropiques pendant la glaciation ?

M. Matajira Yokoyama (53) constate, en se basant sur la faune du Pleistocène supérieur de Tokio-Singawa et la faune quaternaire de Sobo-Noma, que la mer près de Noma, qui a actuellement une température de 10°, avait au quaternaire une température d'au moins 19° C. « Dans l'Occident, on parle de période glaciaire, tandis que chez nous, dans l'Extrême-Orient, nous pouvons parler de l'âge corallien », dit-il.

K. Oseki (39) raconte que M. Penck a reconnu sur des *photographies* des Alpes japonaises des « cirques glaciaires » et moraines frontales. Mais au lieu d'une reproduction photographique des clichés, l'article ne contient que des *dessins* d'après les photos. Et puisque l'auteur constate que l'on n'a jamais trouvé de roches moutonnées, ni de stries glaciaires au Japon, il me semble que le postulat de M. Yokoyama, basé sur une étude consciencieuse, a plus de valeur que la thèse de M. Oseki. La quantité considérable d'hypothèses sur l'origine des périodes glaciaires est la meilleure preuve du fait que le problème glaciaire est loin d'être résolu.

Il me semble pourtant peu vraisemblable qu'une diminution de la température de 5° se soit produite dans les tropiques, pendant les périodes glaciaires, car il n'existe aucune indication de la destruction de la faune coralligène pendant le Quaternaire. Considérons maintenant les oscillations du niveau. Les calculs sont basés sur le fait que la glace pénétrait loin vers le sud dans l'hémisphère nord. Mais si la glaciation n'a pas eu lieu dans la partie septentrionale du Pacifique, où dans une partie de la Sibérie, si au contraire il y avait

là une élévation de la température, l'amplitude de l'oscillation devient absolument hypothétique. Quant à l'oscillation elle-même, il est *possible* qu'un changement de niveau ait eu lieu et j'admets cette possibilité parce que je ne peux pas prouver le contraire. Les données actuelles sont insuffisantes pour trancher cette question.

Il est « *possible* », mais pas du tout prouvé, que la glaciation a eu une influence sur les formations coralligènes qui sont situées à la limite de la température nécessaire pour la croissance de polypiers, comme M. Davis l'admet pour les îles du Pacifique sud, par exemple, Norfolk Islands et quelques îles dans le Pacifique du nord, telles que Midway, Nikoa, etc. (18, p. 247).

\* \* \*

Dans l'archipel des Indes néerlandaises, M. Molengraaff a essayé d'expliquer l'histoire géologique du quaternaire, d'une partie de l'Insulinde par l'application de la théorie de Daly. M. Molengraaff (35) divise l'archipel des Indes orientales en une partie stable et une partie mobile. La partie stable est formée par la plate-forme continentale de l'Asie, Sumatra, Bornéo et Java, qu'il appelle « Sundaplat », et celle de l'Australie et la Nouvelle-Guinée, appelée par lui le « Sahoulplat ». Entre ces deux parties se trouve la partie mobile de l'archipel.

Vers la fin du Pliocène, le « Sundaplat » était presque transformé en pénéplaine. Au commencement du pléistocène, la mer se retirait et un nouveau cycle d'érosion commençait. Après la glaciation, la mer montait de nouveau. Cette submersion est prouvée par l'existence de plusieurs cours d'eau sous-marins.

Dans la vallée de la rivière Kapouas (Bornéo), cet auteur a trouvé des anciennes terrasses fluviales découpées par un abaissement de niveau et remplies plus tard en partie par un mouvement positif de la mer.

Enfin, M. Molengraaff constate que selon les données historiques, les glaciers des Alpes présentent un accroissement depuis l'an 1570 à 1850. Mais dès ce moment les glaciers se retirent. L'auteur admet que le contre-coup de ces mouvements s'est manifesté par un abaissement du niveau marin sur toute la zone équatoriale. Il explique ainsi la formation des bancs calcaires trouvés à Bangka, à 1 à 2 m. au-dessus du niveau de la mer.

M. Weber confirme par des données zoogéographiques l'hypo-

thèse de M. Molengraaff. M<sup>lle</sup> Popta (41) arrivait déjà en 1914 au même résultat que M. Weber.

M. Molengraaff admet un abaissement du niveau de la mer d'au moins 40 brasses (35, p. 504). Or, plusieurs géologues ont constaté au Quaternaire des soulèvements des côtes de Java et Sumatra.

M. van Es (21, p. 264) a constaté un soulèvement quaternaire pour la côte du S.-W. de Sumatra.

M. Verbeek, cité par M. van Es (21, p. 95-96) admet les mouvements suivants pour Java au *Quaternaire*.

1° Un mouvement de soulèvement de Java accompagné par un dépôt de couches fluviatiles.

2° Un mouvement de submersion et dépôt de couches marines.

3° De nouveau un mouvement de soulèvement et dépôt de sédiments fluviaux.

Les forages de Batavia (21, pl. VI, 5) ont confirmé tout à fait l'hypothèse de M. Verbeek.

La grande difficulté que l'on rencontre dans une vérification de la théorie de M. Daly est la détermination de l'âge. Il est possible que les mouvements cités plus haut sous 1° et 2° coïncident avec les oscillations de niveau déterminées par les phénomènes glaciaires. Mais si ces oscillations coïncident avec les mouvements cités sous 2° et 3°, la théorie de M. Molengraaff serait fautive.

M. Brouwer (8) a constaté sur la côte orientale de Sumatra plusieurs terrasses fluviales jusqu'à une hauteur de 100 m.

Cet auteur admet un soulèvement continu de cette région.

M. Tobler (47) signale ces terrasses à Djambi (Sumatra du sud). Mais l'âge de ces soulèvements est de nouveau inconnu.

Malheureusement, il nous manque un critère qui nous permette de déterminer l'âge exact des différents mouvements quaternaires et il est impossible de se prononcer définitivement sur l'hypothèse de M. Molengraaff. Les vallées sous-marines et le phénomène de la « vallée emboîtée » sont des critères peu importants, parce qu'ils peuvent être déterminés aussi par des mouvements de la croûte terrestre.

M. Molengraaff invoque l'absence de récifs soulevés sur le pourtour de la mer de la Sonde pour prouver qu'un soulèvement n'a pas eu lieu. Or, n'oublions pas que le milieu vaseux de la mer de la Sonde n'était pas favorable aux constructions coralligènes, ce qui explique suffisamment l'absence de ces récifs.

L'hypothèse d'une oscillation récente de quelques mètres déterminée par les glaciers ne s'accorde pas avec les mesures géodésiques.

Le capitaine Henrici (30, p. 603) constate qu'une élévation du niveau de 0,26 pieds a eu lieu en Angleterre depuis 1859, tandis que le niveau de Brest a varié de — 6 mm. en 1870 jusqu'à + 100 mm. en 1903.

M. Burrard (9, p. 368) signale une oscillation négative à Bombay depuis + 34,2 mm. en 1898 à — 47 mm. en 1905. La différence d'environ 2 pieds dans quelques stations des Indes britanniques est déterminée par des influences locales.

Le niveau de la mer change constamment sous l'influence des vents, la pression barométrique, etc. Une oscillation régulière, qui correspondrait aux mouvements des glaciers n'a pas été constatée.

Constatons encore que M. Daly se prononce de la façon suivante sur le « Soundaplat » :

« Des plates-formes très grandes (qui n'ont rien à faire avec l'abrasion par les vagues pléistocènes) se trouvent dans la mer de Java et la mer entre Bornéo et la péninsule Malaise..... Ces plateaux s'expliquent sans doute par un comblement continu du fond de la mer, tandis que le niveau de la mer ne changeait presque pas, ou même ne différait pas du tout de sa position actuelle. La plate-forme des Indes orientales est si large et si bien protégée contre les ondes du large qu'il est impossible qu'elle ait été modelée par les vagues pléistocènes ». (14, p. 198-199. <sup>1</sup>)

Le forage de Funafuti ne confirme pas la théorie de Daly, car selon cette théorie le maximum possible de l'épaisseur du récif serait environ de 110 m. Mais après une étude minutieuse, M. Daly est arrivé au résultat que depuis 46 m. jusqu'à 340 m. le forage passait exclusivement par du matériel de talus du récif, ce qui explique cette grande épaisseur.

Il est pourtant douteux que dans tous les autres cas signalés par Gerland (25, p. 37, 38 et 52), où l'épaisseur des récifs dépasse 110 m., les forages passeraient tous par le talus.

J'admets la possibilité de la théorie de M. Daly pour quelques récifs situés aux limites des mers à coraux. Mais une application générale du principe me semble impossible.

#### 4. *La théorie d'Isostasie de M. Molengraaff.*

M. Molengraaff (35) s'est servi du principe d'Isostasie pour expliquer la submersion des îles coralligènes. L'auteur divise le Pacifique en deux parties. La partie méridionale, comprenant aussi l'emplace-

<sup>1</sup> Traduit de l'anglais par l'auteur.

ment du géosynclinal de M. Haug, est mobile, tandis que la partie centrale du Pacifique représente la partie relativement stable.

La limite entre ces deux parties est une ligne qui passe par les fosses de Kermadec et Tonga et qui longe les îles Fiji, Nouvelles-Hébrides, Salomon, etc., vers l'Ouest.

Darwin et Dana ont admis un affaissement de 1000 à 1600 m. d'une partie du Pacifique, sur une surface de 15 à 30 millions de kilomètres carrés. M. Molengraaff n'admet pas un tel affaissement en bloc. Il suppose que les atolls du Pacifique se sont affaissés séparément. Tandis que les roches volcaniques manquent dans la partie sud-ouest, elles sont fréquentes dans le Pacifique central.

Ces îles présentent toutes une anomalie positive de la pesanteur et ces anomalies indiqueraient la présence des roches basiques. M. Molengraaff pense que « les îles volcaniques qui s'élèvent comme des cônes ou des groupes de cônes volcaniques directement sur un sima plastique (c'est-à-dire sur le magma profond), ne peuvent pas persister. Grâce à l'Isostasie et sous l'influence de la pesanteur elles doivent s'affaisser plus ou moins rapidement », pour disparaître sous le niveau de la mer.

Gerland (25) postulait, déjà en 1895, le principe de l'affaissement individuel des volcans du Pacifique. Il constatait qu'il ne s'agit pas d'un phénomène de tassement, puisqu'aux îles Palau, Salomon et Pamautou on constate des périodes alternatives de soulèvements et d'affaissements. Gerland avouait qu'il était incapable d'expliquer ces phénomènes et le principe de l'Isostasie est introduit par M. Molengraaff.

Qu'est-ce que c'est que l'Isostasie ? La réponse à cette question varie selon les différents auteurs ; elle est souvent plus ou moins équivoque. Voici quelques exemples :

Wegener (51, p. 279) admet que certaines parties de la lithosphère sont *plongées* dans le magma plus lourd. Elles se comportent donc comme des « icebergs » flottant dans la mer et ne reposent pas *sur* le magma.

Hayford et Titmann (27, p. 192-194) établissent que si la terre était composée de matériaux homogènes, sa surface d'équilibre, sous l'influence de la gravitation et de sa rotation, serait un ellipsoïde de révolution. La terre est composée pourtant par des matériaux hétérogènes. Si cette matière hétérogène était disposée de façon que chaque surface équipotentielle possède la même densité, il y aurait équilibre parfait. Cet état n'existe pas. Les matériaux ne sont pas fluides et possèdent une viscosité considérable surtout



près de la surface, et l'équilibre ne peut pas s'établir. La surface terrestre présentera par conséquent une légère différence par rapport à l'ellipsoïde idéal. Là où il existe un déficit de densité on trouvera une surélévation et au-dessus d'une région d'excès de masse, se trouvera un enfoncement. Ainsi se forment les continents et océans. Les continents doivent flotter pour ainsi dire, parce qu'ils sont composés de matériaux relativement légers. Cette condition particulière d'équilibre est l'« Isostasie ». La profondeur dans laquelle la compensation est parfaite est appelée le « *niveau de compensation* ». Depuis cette limite, la pression que subit un élément, est égale dans toutes les directions, « comme s'il faisait partie d'un fluide parfait ».

Ces auteurs calculent une profondeur de 113,7 km. pour le niveau de compensation. Ce calcul est basé sur 507 observations sur la déviation du fil à plomb. Selon ces auteurs, la position des Etats-Unis au-dessus du niveau de la mer n'est pas due à la rigidité de l'écorce terrestre, mais au fait que cette partie de la croûte terrestre, plus légère que le magma profond, flotte sur celui-ci.

Stark (45) dans ses études pétrographiques, Branca (6) dans ses études sur le volcanisme et enfin Gilbert (26) dans ses recherches sur l'origine des anomalies de la pesanteur ont tous conclu à la constitution hétérogène de la Terre.

Il est évident qu'en vertu de cette hétérogénéité les roches différentes deviendront visqueuses à des profondeurs différentes. L'étude du volcanisme nous a prouvé que la viscosité des laves basiques est souvent moins grande que celle des laves acides.

Pourtant Hayford et Tittmann admettent qu'il existe un seul niveau de compensation à environ 114 km. où toutes les roches acquièrent tout d'un coup leur fluidité. Il est donc fort probable que le point de départ des calculs de ces deux savants américains est faux. •

M. Gilbert (26) remarque que la compensation isostatique n'est pas parfaite. Il admet que la profondeur de compensation peut varier et que ces variations expliquent en partie les anomalies de gravitation. Pourtant il est impossible d'expliquer ainsi les plus grandes anomalies, puisqu'il faudrait admettre des déplacements du « *niveau de compensation* » de plusieurs fois 114 km.

M. Gilbert explique donc les anomalies par des différences de la matière non seulement de la croûte terrestre, mais aussi du magma fluide et du nucleus rigide.

Malgré ces différences sur la notion de l'Isostasie, tous les auteurs sont d'accord qu'on doit trouver, selon le principe de l'Isostasie,

des anomalies positives au-dessus des océans et négatives sur les continents.

Considérons de plus près les résultats de ces mesures.

Suess (46) constatait déjà que les anomalies de la pesanteur ne confirment pas la théorie de l'Isostasie. En Europe, on constate une large région d'anomalie positive sur l'emplacement de l'Oural et une partie de la Russie du Nord, une seconde dans la zone Varsovie-Kief et mer Noire, une troisième dans l'Allemagne du Nord, dans une partie de l'Italie et de l'Autriche (46, pl. 396, p. 1585). Mais les huit mesures faites dans la Méditerranée sont négatives (46, p. 1603).

La carte de l'Amérique du Nord (26) présente quatre grandes zones à anomalies négatives, séparées par trois zones importantes d'anomalies positives et la surface totale à anomalies positives est un peu plus grande que celle à anomalies négatives.

Gilbert remarquait déjà que, s'il existait vraiment un excès de masse sous les Océans et un déficit de masse sur les continents, on devrait constater un gradient d'anomalies de l'Océan vers la terre ferme dans les zones cotidales. Sa carte démontre nettement que cela n'est point.

Considérons maintenant les mesures sur la mer. L'océan Indien a donné des anomalies positives. Mais dans le Pacifique la fosse du Tonga donnait des chiffres négatifs importants (42, B. XII). Au nord du 24<sup>e</sup> degré N. on trouvait une zone négative jusqu'au 37<sup>e</sup> degré N. (16 mesures négatives et 3 positives).

Dans l'Atlantique, Hecker trouvait sur 67 mesures, une valeur nulle, 29 mesures positives et 37 mesures négatives.

Ces résultats sont plutôt déconcertants pour ceux qui postulent le principe de l'Isostasie. Mais n'oublions pas que les mesures sont peu nombreuses et que le hasard peut avoir joué un rôle important dans ces déterminations.

Pourtant, si les mesures de Hecker étaient distribuées sans aucune régularité, on pourrait douter de leur valeur. Mais cela n'est point, car on rencontre des *zones* à anomalies positives, nettement séparées des zones à anomalies négatives, et il me semble qu'il est fort probable que le travail de Hecker nous donne une image assez nette de la distribution des anomalies.

Les géodésiens et géophysiciens ont essayé d'expliquer ces anomalies.

M. Wegener (51, p. 278) admet que les déficits sur la mer sont déterminés par la couche épaisse d'eau dans les fosses océaniques. Au premier abord, cette solution semblerait suffisante pour expli-

quer les anomalies négatives dans la fosse de Tonga. Or, Hecker trouvait à 9000 m. une anomalie de  $-0,228$ , à 5000 m. (?) une anomalie de  $-0,268$  et sur le plateau de Tonga une anomalie à 3000 m. de  $+0,184$  à  $+0,142$ .

Il est évident qu'il est impossible d'admettre que cette différence de  $+0,184$  à  $-0,268$  est produite par une couche d'eau d'environ 2000 m. (42, B. XII, p. 242-249).

M. Hecker a constaté que la distribution des anomalies sur les océans est régulière, sauf sur les endroits à variation brusque dans la profondeur.

M. Giulio Constanzi (11) admet que la distribution des anomalies est liée à la disposition des chaînes de montagnes, et il donne certaines règles assez compliquées. Mais ces règles n'expliquent pas les anomalies hors des chaînes de montagnes, comme par exemple l'anomalie négative dans la fosse de l'Afrique, les anomalies variables dans la vallée du Rhin depuis le lac de Constance jusqu'à la fosse du Rhin, les zones positives de l'Amérique du Nord, etc.

M. Niethammer (38) admet que les plus grandes anomalies négatives ne correspondent pas aux plus hauts sommets actuels parce que les plus hautes saillies originelles ont été les premières enlevées par l'érosion. Mais M. Gilbert (26, p. 32) constate que les Apalaches ont été dénudés pendant deux périodes géologiques. Ils ont dû perdre des milliers de pieds de sédiments et pourtant ils ont une anomalie positive.

M. Gilbert (26), nous le savons, tout en admettant le principe de l'Isostasie, explique les anomalies par la rigidité de l'écorce terrestre et par la formation hétérogène de la Terre, non seulement de la croûte superficielle, mais aussi de la zone magmatique et du nucleus rigide.

Les Apalaches, le plateau de Wasatch, etc., sont des charges surajoutées et supportées grâce à la rigidité de l'écorce.

Il me semble que l'hypothèse de M. Gilbert est la seule qui soit capable d'expliquer les différentes anomalies.

Enfin, l'école américaine a vivement critiqué les mesures de Hecker. Comme on sait, Hecker se servait pour ces mesures du principe que le point d'ébullition d'un fluide dépend de la pression barométrique. Hecker mesurait la température, calculait la pression correspondante et la comparait avec la hauteur d'un baromètre à mercure. Cette méthode lui permit de constater encore des différences de  $10^{-5}$  de  $g$ .

M. Bauer (9) critique surtout la méthode de calcul suivie par

Hecker, et Briggs (7) constate que l'erreur faite dans les mesures du thermomètre hypsométrique est d'environ  $0,003^{\circ}$  C., correspondant à une pression atmosphérique d'environ 0,083 mm. ou à une erreur de 0,11 cm. pour la gravitation.

Mais même si l'on admet une précision pour les mesures de Hecker de  $10^{-4}$ , les très fortes anomalies de l'avant-fosse de Tonga contredisent la théorie de l'Isostasie.

Le résultat des mesures actuellement effectuées ne peut pas être considéré comme une confirmation complète du principe de l'Isostasie. Il me semble que l'effet de l'Isostasie est tellement modifié par d'autres facteurs que l'application du principe dans les problèmes géologiques régionaux comme l'origine des récifs du Pacifique, devient très précaire. Les données dont nous disposons ne nous permettent pas du tout de conclure à un excès de masse général sous les océans, ni à un déficit général sous les continents.

Considérons maintenant le rapport entre la constitution pétrographique et les anomalies du Pacifique.

Les roches basiques sont fréquentes dans le Pacifique ; mais n'oublions pas que la pétrographie de cette région est relativement peu connue. M. Iddings (31) cite la présence des trachytes et phonolites à différents endroits, fait confirmé par M. Stark (45, p. 290-291). M. Iddings considère ces roches acides comme des différenciations d'un magma basique (31, p. 416) et il propose d'explorer soigneusement le Pacifique pour calculer un magma moyen.

Quant au calcul d'un magma moyen pour le Pacifique proposé par cet auteur, il me semble que c'est un travail inutile. Même si l'on a soigneusement exploré toutes les îles du Pacifique, un calcul basé sur ces données doit être faux puisqu'on est forcé de négliger une surface infiniment plus grande couverte par l'Océan.

Il est fort probable que la croûte terrestre sera composée au Pacifique, comme M. Stark l'a prouvé pour les autres parties de l'écorce terrestre, par des roches du type pacifique et par celles du type Atlantique, des roches basiques et des roches acides, des roches lourdes et des roches légères, et on y trouvera par conséquent des anomalies positives et négatives.

Le magma basique ayant souvent un haut degré de plasticité favorise le phénomène admis par M. Molengraaff. Il est possible que cette circonstance favorable ait déterminé l'affaissement local de certaines îles du Pacifique.

Mais une application régionale du principe, pour la formation de tous les atolls du Pacifique central, ne me semble guère possible.

Les anomalies négatives constatées par Hecker nous obligent à une grande prudence dans l'application du principe de l'Isostasie au problème de l'origine des récifs coralligènes.

\* \* \*

Nous avons vu dans les pages précédentes que les causes qui déterminent la formation des récifs coralligènes sont de nature très différente.

Je crois qu'on peut considérer la période des discussions sur l'origine des récifs coralligènes comme close. Le problème des récifs coralligènes est entré dans un nouveau stade.

L'étude de l'origine des récifs forme une partie essentielle de l'histoire géologique des régions coralliennes et le problème de l'origine d'un récif local est surtout un problème d'histoire géologique locale.

### CONCLUSIONS

1. L'origine des récifs coralligènes ne peut pas être expliquée par une seule et unique hypothèse, et une étude locale doit trancher la question de l'origine de chaque récif et chercher son explication.

2. L'état actuel dans lequel se trouve chaque récif est un équilibre entre des facteurs zoologiques, botaniques, biologiques, géologiques et météorologiques. Une étude sérieuse de tous ces facteurs est nécessaire pour pouvoir tirer une conclusion sur l'origine de chaque récif.

3. L'application des renseignements provenant des récifs sur la tectonique régionale exige une connaissance exacte de l'âge des récifs. Nos connaissances stratigraphiques des régions tropicales ne nous permettent pas, à l'heure qu'il est, de tirer des conclusions définitives sur l'âge des sédiments postburdigaliens.

4. Pour la solution des problèmes de la tectonique locale, l'étude des récifs sera de grande importance, aussitôt que le problème stratigraphique sera résolu.

Citons, pour finir cette étude, les paroles si exactes de M. Davis :

« Le problème des atolls n'est pas du tout résolu et il est impossible qu'il le soit avant que notre science ait fait des progrès incroyables. »

## LITTÉRATURE

1. AGASSIZ, ALEXANDER. *The Coralreefs of the Tropical Pacific*. « Mem. Mus. Comp. Zool. Harvard College. » Vol. XXVII. 1903.
2. — *The Coralreefs of the Maldives*. « Mem. Mus. Comp. Zool. Harvard College. » Vol. XXIX. 1903.
3. BAUER, L. A. *Gravity determination at sea*. « Am. Journ. of Science. » 3rd series. Vol. XXXI. January 1911.
4. BOEHM, G. *Geologische Ergebnisse einer Reise in den Molukken*. « Congrès Géologique de Vienne. » 1903, p. 657-663.
5. — *Ueber Korallenriffe*. « Centralbl. für Geol. Pal. und Mineralogie. » 1910, p. 504.
6. BRANCA. *Ueber die Bedeutung der Magmatischen Erdbeben gegenüber die tektonischen Sitzungsber.* « K. Preuss. Akad. der Wissensch. » Bd. XXVIII. 1917, p. 380-399.
7. BRIGGS, L. J. *A new method of measuring the acceleration of gravity at sea*. « Proc. Nat. Ac. of Sciences. » July 1916, p. 399-407.
8. BROUWEN, H. A. *Bydrage tot de geologie v/d Boven-Kampar en Rokanstreken*, p. 130-171. « Jaarboek. Mynw. Ned. Oost-Indie. 1913. Verhandelingen.
9. BURRARD, S. G. *Note on mean sea-level*. « Geogr. Journal. » Vol. XXXIX, n° 4. 1912, p. 366-369.
- 10 a. CARY, L. R. *Studies on Alcyonaria*. « Yearb. Carn. Inst. Wash. » N° 14. 1915, p. 200-202.
- b. — *Alcyonaria as a contributing factor in the formation of some Pacific Coralreefs*. « Yearbook Carn. Inst. Wash. » N° 15. 1916, p. 173-175.
11. CONSTANZI, G. *Les déplacements des maxima de l'Anomalie positive et négative de la pesanteur relativement à la configuration du terrain*. « Comptes rendus de l'Acad. des Sciences, Paris. » N° 17. Tome CXLV. 1907, p. 695-697.
12. DAKIN, J. W. *The Percy Sladen Trust Expedition to the Abrolhos Islands*. Report I, p. 127-181. « Journal of the Linnean Society of London. » Jan. 1919. Vol. XXXIV, n° 226, p. 12.
13. DALY, R. A. *Pleistocene glaciation and the Coralreefproblem*. « Am. Journ. of Sciences. » Vol. XXX, p. 297-308, 1910.
14. — *The glacial control theory of coralreefs*. « Proc. Am. Ac. of Arts and Sciences. » Vol. LI. 1915, p. 157-251.
15. — *Origin of the living coralreefs*. « Scientia. » Vol. IX. 1917, p. 69-73.
16. DANA, J. D. *Origin of coralreefs and Islands*. « Am. Journ. of Sciences. » Vol. XXX, 1885, p. 89-106 et 169-191. .
17. DARWIN, CH. *Les récifs de corail, leur structure et leur distribution*. Traduction de M. L. Cosserat, 1878.
18. DAVIS. *A Shaler Memorial Study of coralreefs*. « Am. Journ. of Sciences » Vol. XL, p. 223-271. Fourth Series 1915.
19. — *Fringing reefs of the Philippine Islands*. Proc. Nat. Ac. Science, n° 7, 1918.
20. — *The homestudy of coralreefs*. « Bull. Amer. Geogr. Society' » 1914. Vol. XLVI, p. 561-577, 641-654, 721-739.

- 20a. DREW, G. H. *Report of the investigations on Marine Bacteria carried on at Andros Islands, Bahamas and the British West Indies in May 1912.* « Yearb. Carn. Inst. Wash., » n° 11, 1912, p. 136-144.
21. ES, VAN L. J. C. *De voorhistorische verhouding van land en zee in den O. I. Archipel en de invloed daarvan op de verspreiding der diersoorten,* p. 254. « Jaarb. v/h Mynw. » Ned-Indië Verhandelingen 2de gedeelte 1916.
22. — *De tektoniek van de Westelyke helft van den O. I. Archipel.* « Jaarb. v/h Mynw. » Ned-Indië Verhandelingen 2de gedeelte 1917.
23. ESCHER, B. G. *Atollen in den Nederl. O. I. Archipel.* « Mededeel. Encyclop. Bureau, » afl. XXII.
24. GARDINER, J. St. *The fauna and Geography of the Maldives and Lacadives Archipelago.*
25. GERLAND. *Vulkanistische Studien. Die Koralleninseln vornehmlich der Südsee.* Beiträge zur Geophysik, 1895.
26. GILBERT, G. K. *Interpretation of anomalies of gravity.* Prof Paper n° 85 C. U. S. Geol. Serv.
27. HAYFORD. *The importance of gravity observations at sea on the Pacific.* « Proc. Nat. Ac. of Sciences, » n° 7, 1916.
28. HECKER, O. *Die Schwerkraftbestimmung an der Erdoberfläche und ihre Bedeutung für die Ermittlung der Massenverteilung in der Erdkruste.* Zeitschr. Ges. Erdkunde 1909, p. 361-378.
29. HEDLEY, C., and TAYLOR, T. G. *Coralreefs of the Great Barrier Queensland. A study of their structure, life distribution and relation to mainland physiography.* « Austr. Assoc. Adv. Sciences. » Adelaide Meeting, 1907, p. 394-413.
30. HENRICI, O. E. *Mean Sealevel.* « Geogr. Journal. » Vol. XXXVIII, 1911, p. 605-607.
31. IDDINGS, J. P. *The petrology of some south Pacific islands and its significance.* « Proc. Nat. Ac. of Sciences, » n° 7, 1916.
- 31a. KELLERMANN, K. F. *Bacterial precipitation of calcium carbonate.* « Journ. Wash. Acad. Sciences. » Aug. 1914.
32. MARTIN, K. *Bemerkungen über sogenannte Korallenkalk oder Karang.* « Centralblatt für Min., Geol. und Pal., » 1911, n° 9, p. 282-285.
33. MAIER. *Coral reefs of Tutuila with reference of the Murray-Agassiz theory.* « Proc. Nat. Ac. of Sciences, » n° 8, 1917.
34. — *Efficacy of Holothurians in dissolving limestone.* « Yearbook Carn. Inst. Wash., » n° 16, 1917, p. 186.
35. MOLENGRAAFF, G. A. F. et M. WEBER. *Het verband tusschen den pleistocenen ystyd en het ontstaan der Soendazee, etc.* « Kon. Ac. Wetensch., » 29 nov. 1919, Dl. XXVIII, p. 497-544.
36. — *The Coralreef problem and isostasy.* « Kon. Ac. Wet. Proc. section of Sciences. » Vol. XIX, 4, p. 610-628.
37. MURRAY, SIR JOHN. *On the structure and origin of coralreefs and Islands.* « Proc. Roy. Soc. Edinb. » 1880, Vol. X, n° 107, p. 505-518.
38. NIETHAMMER. *Schwerebestimmungen der Schweizerischen Geodätischen Kommission Verhandl. Schweiz. Naturf. Ges. Jahresvers. Glarus,* Bd. I, n° 91, 1908, p. 43-63.
39. OSEKI, K. *Die Eiszeit in den Nord Japanischen Alpen.* « Geol. Rundschau, » 1915. Bd. IV, p. 346-353.

40. PIRSSON and VAUGHAN. *A deepboring on Bermuda Islands*. « Am. Journ. of Sciences. » Vol. XXXVI, July 1913, p. 70-72.
41. ПОРТА, M<sup>lle</sup> C. M. L. *Une explication de la grande différence qui existe entre la faune ichtyologique de Bornéo et celle de Célèbes*. « Congrès intern. de Zoologie de Monaco, » 1914, p. 589.
42. *Procès-verbaux des séances de la 15<sup>e</sup> Conférence générale de l'Association géodésique et internationale, 1906, Budapest.*
43. RÉPELIN, M. J. *Sur un point de l'histoire de l'Océan Pacifique*. « Comptes rendus Ac. des Sc., Paris, » t. 168, p. 237, séance du 27 janv. 1919.
44. SKEATS, E. W. *The Coralreef problem and the evidence of the Funafu-tiborings*. « Am. Journ. of Sciences, » 1918, p. 81-91. Vol. XLV, 4th series.
45. STARK, M. *Petrographische Provinzen*. « Fortschritte der Min. Krist. Petr. » Bd. IV, 1914, p. 252-337.
46. SUESS, E. *La face de la Terre*, tome III, 4.
47. TOBLER, A. *Topographische und Geol. Beschreibung der Petroleumgebiete bei Moeara Enim. (S. Sumatra.)* « Tydschr. Ned. Aard. Genootsch. » 1906, p. 199-315.
48. VAUGHAN, T. W. *Fossil corals from Central America, Cuba and Porto-Rico with an account of the American Tertiary Pleistocene and recent coralreefs*. « Smiths. Institution. U. S. Nat. Mus. Bul. » 103, p. 189-524.
49. WANNER. *Geologie von W. Timor*. « Geol. Rundschau. » Bd. 4, 1913, p. 138.
50. WEBER, M. *L'expédition du Siboga*, livre. II.
51. WEGENER, A. *Die Entstehung der Kontinente*. « Geol. Rundschau, » Bd. III, 1912, p. 276-292.
52. WHARTON, ADM. *Formation of Coralreefs*. « Nature. » Vol. LV, 1897, p. 390-393.
53. YOKOYAMA, M. *Climatic changes in Japan since the Pliocene Epoch*. « Journ. of the College of Sciences, Tokyo. » Vol. XXXII, Art. 5, 1911.