

Remarques sur les atolls de l'archipel des Tuamotu (Polynésie française)

Autor(en): **Aubert de la Rüe, Edgar**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **68 (1962-1964)**

Heft 314

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-275456>

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.

Remarques sur les atolls de l'archipel des Tuamotu (Polynésie française)

PAR

EDGAR AUBERT DE LA RÛE

Depuis les travaux de CH. DARWIN (1837), J. D. DANA (1849), R. A. DALY (1910) et d'autres encore au début de ce siècle, sur les récifs de Coraux, des études et des publications extrêmement nombreuses ont été consacrées à ce même sujet par des auteurs américains, anglais, hollandais et plus récemment français. La bibliographie des récifs coralliens et des atolls en particulier est extrêmement abondante et l'on doit être reconnaissant à G. RANSON (1958 *a*) de l'avoir établie. La liste qu'il a relevée, bien qu'encore incomplète, est cependant considérable, occupant 80 pages, et le sujet est loin d'être épuisé lorsqu'on sait les discussions auxquelles ont donné lieu les nombreuses théories avancées en vue d'expliquer l'origine et l'évolution des atolls et les imprécisions qui subsistent quant aux détails de leur morphologie.

Une importante mise au point de ce sujet, intitulée *Atoll environment and ecology* a été publiée par HEROLD J. WIENS (1962). Les recherches personnelles de l'auteur dans plusieurs îles madréporiques du groupe des Marshall et celui des Carolines, ainsi que de patientes et laborieuses investigations bibliographiques l'avaient préparé à ce remarquable travail de synthèse sur la genèse et l'évolution récente de ces édifices coralliens, tant au point de vue physique que biologique. Tous ceux qui s'intéressent à ces îles si curieuses auront grand profit à consulter la précieuse source de documentation qu'est l'ouvrage de H. J. WIENS, accompagné de tableaux, graphiques, plans et coupes et d'une centaine de photographies très explicites.

L'auteur discute les définitions diverses données de l'atoll et qui sont généralement imprécises. Voici celle qu'il propose finalement :

Un atoll est un récif calcaire émergé de façon plus ou moins continue ou légèrement submergé, entourant un ou plusieurs lagons plus ou moins profonds, en l'absence de toute île volcanique émergée et indépendant de toute autre île. Les pentes externes supérieures de ce récif ont une inclinaison plus forte que celles normalement offertes par des sédiments meubles reposant sur un socle, habituellement volcanique, trop profond pour permettre la croissance des Coraux.

L'idée que l'on se fait habituellement d'un atoll, en lui attribuant une forme régulièrement circulaire ou ovale, avec un unique et vaste lagon central à fond plat, ne correspond qu'assez exceptionnellement à la réalité. Beaucoup d'atolls présentent des contours très irréguliers et il n'est pas rare d'y compter plusieurs lagons, au dessin parfois fort capricieux et qui, dans certains cas, se réduisent à fort peu de chose, l'étendue des terres émergées pouvant éventuellement égaler et même dépasser celle du lagon.

Il est également important de noter qu'en dépit de leur nom, les récifs coralliens qui ont édifié les atolls ne comprennent pas uniquement des Madrépores, dont on a dénombré, dans le seul archipel des Tuamotu, par exemple, une soixantaine d'espèces appartenant notamment aux genres *Pocillipora*, *Acropora*, *Montipora*, *Favia*, *Porites*, etc. Aux Coraux s'ajoutent d'autres organismes marins, en particulier des Mollusques, Lamellibranches et Gastéropodes (*Tridacna*, *Chama*, *Turbo*, *Nerita*, etc.), des Foraminifères extrêmement abondants, en particulier une Amphistégine rousse (*A. lessoni*). Celle-ci forme à elle seule d'importantes masses de sable coloré. Enfin, des Algues calcaires incrustantes, du genre *Porolithon*, ont, à la périphérie du récif et sur le haut du talus externe, une extension très spectaculaire, mise en évidence par leur coloration rose saumon. Ces Algues n'ont cependant qu'un rôle assez limité dans la construction de l'édifice corallien, comme l'a montré N. D. NEWELL (1954) à propos de l'atoll de Raroia.

Bien que les récifs de Coraux soient généralement associés aux atolls, les uns et les autres ne sont pas nécessairement cantonnés dans les mêmes limites. La répartition géographique des premiers, incomparablement plus vaste, dépend essentiellement des conditions du milieu marin, alors que la présence de l'atoll est liée, en outre, aux conditions géologiques du fond de l'océan.

Les températures extrêmes que peuvent normalement supporter les Coraux constructeurs sont respectivement de 18° et de 36°, l'isotherme de 22° des eaux de surface des mers marquant la limite au-dessous de laquelle ils cessent de prospérer. Des conditions locales favorables permettent actuellement aux Coraux constructeurs de récifs de s'avancer, en quelques points, très au-delà des tropiques. Ils atteignent la latitude de 32°N aux Bermudes et même celle de 35°N le long de la côte occidentale du Japon, tandis qu'ils parviennent, dans l'hémisphère austral, jusqu'à 32°S au voisinage de Durban sur la côte du Natal. Les atolls proprement dits sont plus strictement confinés dans les mers intra-tropicales.

En plus d'une température élevée, les Coraux exigent des eaux fortement salées, agitées et riches en oxygène afin de pouvoir fixer le carbonate de chaux en solution dans la mer. Ces eaux doivent être claires et peu profondes, car si certaines espèces de Madrépores peuvent vivre

plus bas, la plupart cessent en général de former des colonies denses au-dessous de 35 à 45 m. L'eau dans laquelle prospèrent la plupart des Coraux doit être limpide, une lumière abondante étant nécessaire à la photosynthèse des Zooxanthelles, algues symbiotiques unicellulaires qui vivent dans leur ectoderme et favorisent leur croissance en utilisant le gaz carbonique et en libérant de l'oxygène. Au voisinage de l'embouchure des grands fleuves et des cours d'eau limoneux, la turbidité de l'eau, en réduisant la pénétration de la lumière solaire, contrarie leur développement. On doit cependant remarquer qu'il existe des espèces de Madrépores supportant parfaitement une certaine turbidité, au moins temporaire, comme en témoigne l'extension des récifs frangeants et même barrières à la périphérie de nombreuses îles tropicales élevées (archipel de la Société, Fidji, Nouvelles-Hébrides, etc.), malgré les apports boueux des rivières en crue lors de la saison des pluies. Une autre condition, vitale pour le développement des récifs de Coraux, est la présence d'un seuil rocheux sur lequel ils puissent se fixer, d'où leur absence sur les fonds vaseux et sablonneux.

Le Pacifique et ses mers marginales, à l'exception toutefois de sa bordure orientale, où l'on ne connaît guère que l'atoll imparfait (*almost atoll*) de Clipperton, à 700 km au large des côtes mexicaines, sont, par excellence, le domaine des récifs de Coraux et des atolls. Vient ensuite l'océan Indien et ses dépendances (mer Rouge, golfe Persique et golfe du Bengale). L'Atlantique s'inscrit en dernier lieu, les Coraux constructeurs n'ayant une certaine importance qu'aux Bahamas et en mer des Caraïbes. On note, avec étonnement, l'absence à peu près totale de récifs coralliens le long de la lisière orientale des trois grands bassins océaniques, mais cette absence peut s'expliquer, dans une certaine mesure, sur d'importantes sections de ces lisières, par l'afflux d'eaux froides, dont sont respectivement responsables les courants du Pérou, de Benguela et de l'Australie occidentale. La nature limoneuse des eaux côtières le long du littoral des Guyanes, baigné par le flot bourbeux de l'Amazone, de même que la côte envasée du Choco (Colombie), expliquent également cette absence de Coraux. Elle est moins compréhensible le long des côtes rocheuses du golfe de Guinée, en Afrique, et de celles du nord-est du Brésil, ou encore le long de celles, également rocheuses, de l'Amérique centrale, baignées par le Pacifique.

Certains faits intéressent plus directement les atolls. On a longtemps pensé que leur forme était sous l'étroite dépendance des vents dominants, alors qu'en réalité elle est en relation avec l'allure du contour extérieur de leur socle.

Les observations faites par DARWIN l'incitèrent à penser qu'un récif-frangeant, se formant sur un socle en voie de lente subsidence, pouvait se transformer, progressivement, en récif-barrière et finalement en un atoll, pour peu que la vitesse de croissance des Coraux puisse

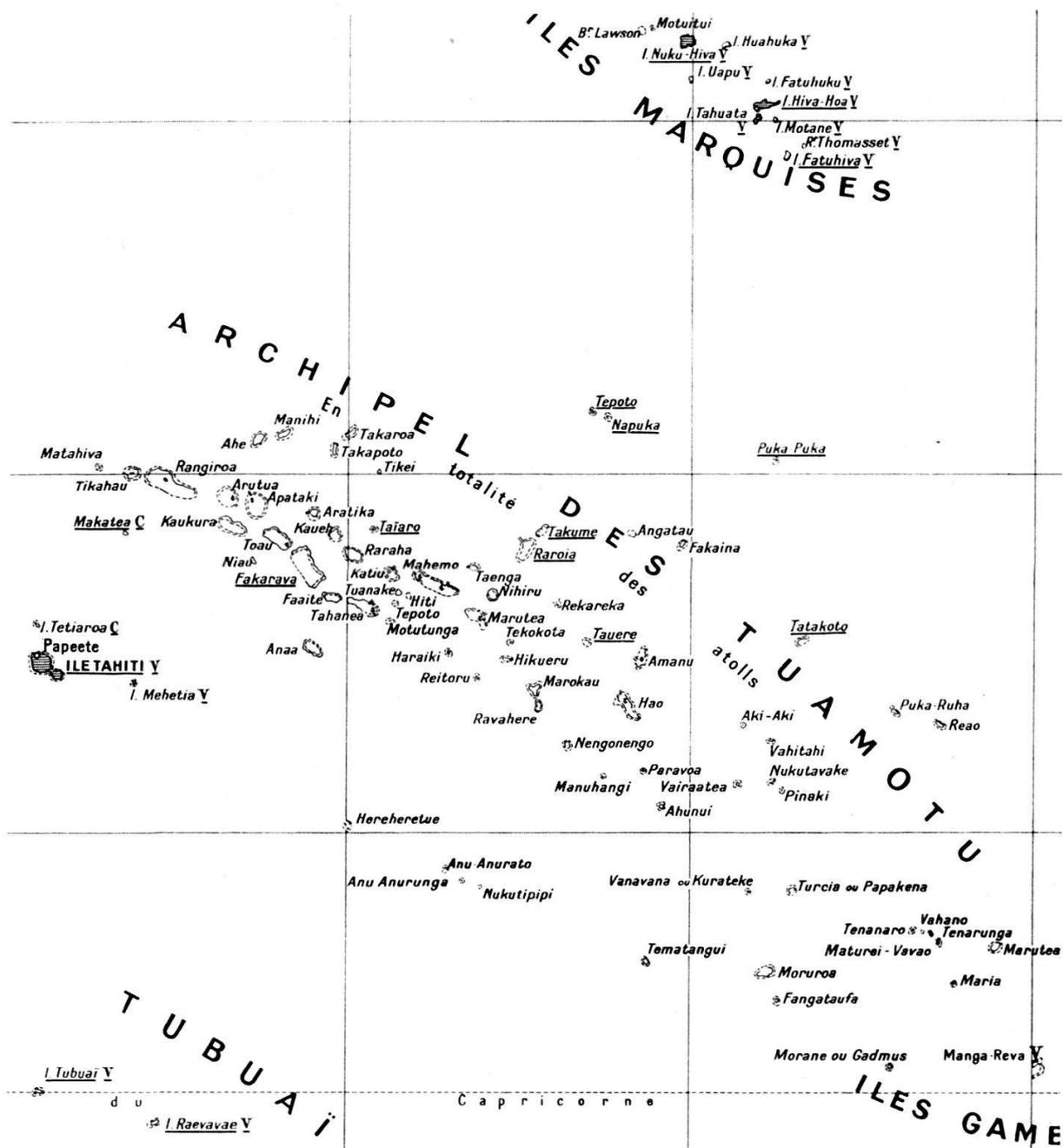
compenser l'affaissement de ce socle. Appuyée par les recherches de J. D. DANA, la théorie de la subsidence, avancée par DARWIN, connut tout d'abord un grand succès. Des opinions contraires, défendues par A. AGASSIZ, J. STANLEY-GARDINER, A. DALY et d'autres, ne tardèrent pourtant pas à se manifester, proposant de nouvelles interprétations. La théorie glacio-eustatique de A. DALY, ayant le mérite d'expliquer certains faits que n'éclairait pas celle de DARWIN, trouva de fervents partisans, mais elle a été à son tour fort discutée ; le point de vue, plus récemment exprimé par H. T. STEARNS (1946), qui fait intervenir des déformations structurales du bassin du Pacifique, ne manque pas d'intérêt. Quoi qu'il en soit, les idées de DARWIN, reprises par DAVIS et confirmées par les divers forages exécutés dans certains atolls du Pacifique (Funafuti, 1898 ; Kita-Daitô-Zima à l'est d'Okinawa, 1936 ; Bikini, 1947 et Eniwetok, 1953), qui ont montré la puissance des dépôts de calcaires récifaux édifiés au cours du Tertiaire, restent valables pour cette époque.

H. J. WIENS, dans le volume cité plus haut, passe en revue l'ensemble de ces théories et en arrive finalement à la conclusion qu'aucune solution parfaitement valable ne peut être encore formulée. Il admet, avec S. L. HAMILTON (1956) et H. T. STEARNS (1946), qu'il n'existe pas de théorie satisfaisante dans tous les cas et que les tentatives d'expliquer la formation de tous les récifs coralliens par une théorie unique sont vouées à l'échec. La plupart de ceux qui les ont formulées ont raison en un endroit donné et pour un moment donné.

Après le rappel de ces généralités, venons-en aux Tuamotu, l'archipel Dangereux des anciens navigateurs, ainsi nommé en raison des violents courants de marée qui se manifestent dans ces parages et des naufrages qu'ils provoquèrent parmi ces nombreuses îles coralliennes. Il s'agit là du plus grand groupe d'atolls du Pacifique, dépassé numériquement seulement par celui des Maldives dans l'océan Indien.

Les atolls des Tuamotu offrent, à certains égards, des différences avec ceux des autres groupes, en particulier par leurs formes moins capricieuses, leur couronne plus étroite, la présence d'un lagon, souvent unique, et l'étendue restreinte des terres émergées par rapport à leur superficie totale.

L'archipel en question, situé dans la partie orientale de la Polynésie française, s'étend à peu près au centre du Pacifique, au sud de l'équateur, entre les latitudes de 14° et 22°S et les longitudes de 135° et 149°W. L'aire océanique sur laquelle sont dispersés ces quelque 80 atolls s'étire sur 1600 km du NW au SE et sur 800 km du NE au SW. Les îles hautes les plus proches, d'origine volcanique sont, au sud : Mangareva, à moins de 200 km des atolls les plus méridionaux et dans le NW les îles de la Société, dont Tahiti, distant de 230 km au SW de Makatea. Certains de ces atolls sont habités, d'autres fréquentés temporairement



L'ARCHIPEL DES TUAMOTU

Les noms soulignés sont ceux des îles visitées par l'auteur.

pour la pêche aux Huîtres perlières (*Pinctada margaritifera*) et pour la récolte du copra.

La plupart de ces atolls sont disposés le long de quatre principaux alignements NW-SE, celui-là même offert par l'orientation générale du groupe, en relation avec la topographie sous-marine, déterminée sans doute par la présence de grandes failles ou par des rides anticlinales.

Des axes structuraux de même direction se retrouvent d'ailleurs dans tout le Pacifique central, depuis les îles Hawaï jusqu'à l'archipel de la Société et plus au Sud encore jusqu'à l'alignement des îles de Cook et des Australes. On note pourtant qu'un petit nombre d'atolls des Tuamotu sont alignés transversalement par rapport à l'orientation générale de l'ensemble du groupe, suivant des axes secondaires NE-SW.

A la suite de DARWIN, qui les traversa rapidement en 1835 et exposa ses premières vues sur leur origine en 1837, les atolls des Tuamotu reçurent par la suite la visite de plusieurs naturalistes, dont J. P. COUTHOUY (1844), qui séjourna longuement sur plusieurs îles en 1841, celle de J. D. DANA, en 1849. A. AGASSIZ les visita d'une façon assez prolongée vers 1900, de même que W. D. DAVIS au cours du premier quart de ce siècle. Dans l'ensemble, ces premiers naturalistes étudièrent surtout ces atolls en géologues. Depuis une douzaine d'années, les recherches furent principalement conduites par des zoologistes et de caractère biologique. Entre 1952 et 1954, G. RANSON (1953-1962), du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris, visita plusieurs îles (Makatea, Rangiroa, Kaukura, Niau, Apataki, Takapoto, Fakarava, Anaa), étudiant spécialement Hikueru. Ses nombreuses publications apportent des vues originales sur le rôle des Algues incrustantes et perforantes qui seraient, selon lui, les agents les plus actifs de la corrosion des calcaires récifaux. Une mission polyvalente composée de plusieurs membres et dirigée par NORMAN D. NEWELL, organisée par le *Pacific Science Board* du *National Research Council* de l'Académie Nationale des Sciences de Washington, séjourna durant les mois de juillet et août 1952 à Raroia, qui est certainement à l'heure présente l'atoll le mieux étudié des Tuamotu (NEWELL, 1954).

Au cours d'une mission d'une année en Polynésie française (janvier 1955 - janvier 1956), confiée par l'*Inspection générale des Mines et de la Géologie de la France d'outre-mer* et qui avait pour but principal l'étude des îles volcaniques, j'ai pu parcourir durant quelques trop brèves semaines les Tuamotu, m'arrêtant à Makatea, Fakarava, Taiaro, Tauere, Raroia, Takume et certains des atolls les plus orientaux et écartés, tels que Tatakoto, Puka Puka, Napuka et Tepoto (1959).

Les cartes bathymétriques montrent que l'archipel des Tuamotu est séparé des groupes volcaniques voisins (archipel des Marquises au Nord et archipel de la Société à l'Ouest) par des fonds de 4000 m, le Plateau des Tuamotu lui-même se situant à une profondeur moyenne de 2000 m, avec des reliefs immergés, très vraisemblablement volcaniques et de nature basaltique, s'élevant à un millier de mètres de la surface de l'océan. Sur ces derniers se sont édifiés, au cours du Tertiaire, des formations coralliennes dont les sommets, émergeant à peine, correspondent à des plate-formes d'abrasion marine quaternaires, qui sont les atolls actuels. Il s'agit là d'édifices morts et fossiles, à la surface desquels

les Coraux vivants ne jouent qu'un rôle restreint. L'ensemble de ces assises de récifs coralliens immergés sur le Plateau sous-marin des Tuamotu, représente une masse de calcaire réellement énorme.

Aucun forage n'a encore été entrepris dans le groupe, qui puisse nous renseigner avec précision sur la profondeur à laquelle s'abaissent ces puissants piliers calcaires reposant sur leur socle volcanique, mais G. RANSON rappelle que des mesures géophysiques ont été effectuées il y a un certain nombre d'années sur l'atoll de Takaroa, indiquant pour la profondeur du socle une valeur sensiblement égale à celle rencontrée à Bikini, dans les Marshall, où des calcaires coralliens furent traversés jusqu'au sommet de l'Oligocène, soit à -852 m.

Il existe aux Tuamotu des atolls de toutes dimensions, les plus vastes d'entre eux ayant un périmètre de 160 à 180 km, comme Rangiroa, mesurant 77 km de long sur 26 km de large. Il est suivi de près par Fakarava, auquel on attribue, suivant les sources, de 50 à 60 km comme plus grande dimension.

Le lagon de Raroia, que l'on peut classer parmi les atolls moyens, son pourtour étant de 90 km, mesure 44 km sur 14 km. La superficie totale de l'île, d'après N. D. NEWELL, est de 400 km^2 , le lagon en occupant à lui seul 340, ce qui laisse seulement une étendue de 60 km^2 pour la surface totale de sa couronne. La largeur moyenne de celle-ci, entourant un lagon d'une profondeur de 55 m, est de 600 m.

L'anneau récifal des atolls des Tuamotu, de même que les lacunes ou passes qui peuvent l'interrompre de place en place, sont généralement plus étroits que chez les atolls des autres grands groupes du Pacifique. Cet anneau dessine ici assez souvent un ovale aplati, allongé dans le sens de l'alignement dont l'atoll fait partie. Les plus nombreux le sont donc suivant une direction NW-SE, alors que ceux des axes secondaires, tels que Takaroa et Takapoto, Takume et Raroia, Amanu s'étirent au contraire dans le sens NE-SW.

La largeur de la couronne est de 300 à 400 m pour de petits atolls comme Taiaro et Tauere, de 400 et 500 m pour Takaroa et Takapoto. G. RANSON l'estime à 700 m en moyenne à Anaa, sauf à l'Ouest, où elle s'élève à 2000 m.

Même lorsque la couronne d'un atoll est ininterrompue, il est très rare qu'elle soit exondée sur tout son développement. Des sections plus ou moins longues correspondent, en fait, à une simple chaussée de calcaire corallien, nivelée par l'abrasion marine et située sensiblement au niveau de l'océan, de sorte qu'elle est recouverte à marée haute et partiellement submergée par la houle et les embruns au moment des basses mers, l'amplitude des marées étant faible dans l'archipel, de l'ordre de 60 cm le plus souvent. Au moment des tempêtes ou simplement lorsque la mer est un peu forte à l'extérieur, c'est par ces parties basses, ne supportant aucun îlot, que les vagues et la houle pénètrent dans le lagon, le

trop-plein étant évacué de la même façon par la rive opposée. Dans le cas d'un lagon pourvu d'une coupure naturelle, celle-ci sert d'émissaire à ce trop-plein. De là, quel que soit le sens de la marée, la violence du courant qui s'échappe du lagon vers le large.

La plupart des atolls que j'ai visités étaient privés de passe, d'où la nécessité de les aborder par le rebord externe de la couronne, en attendant qu'une vague assez puissante soulève l'embarcation et la projette sur le récif, ce qui est toujours assez scabreux.

Ces coupures du récif, permettant au lagon de communiquer directement avec la mer, sont étroites ou larges, profondes ou non. Quelques-unes sont praticables aux navires d'un fort tonnage, comme à Rangiroa, Apataki, Amanu et Mororua, d'autres accessibles seulement à des baleinières, à Takume par exemple. La croissance des Coraux ayant tendance à rétrécir ces passes, celles-ci doivent être éventuellement dégagées au moyen d'explosifs.

Sur les 80 atolls que comptent les Tuamotu, environ 47 sont privés de passe, 23 en ont une et une dizaine en ont deux. A l'exception de quelques passes rares, ouvertes au Nord-Est, la majorité d'entre elles sont situées sous le vent des atolls, en l'occurrence au Nord-Ouest et à l'Ouest, du fait de la prédominance marquée de l'alizé du SE. N. D. NEWELL en voit la raison dans le fait que le dépôt du carbonate de chaux est plus important du côté du vent dominant. Ainsi, à Raroia, les anciennes lacunes de la couronne ont été plus rapidement comblées à l'Est, grâce à la croissance plus vigoureuse des Coraux de ce côté. Ce serait pour cette raison également que la partie des atolls exposée à l'alizé présente généralement la plus vaste étendue de terres émergées.

La plate-forme récifale, correspondant à la surface de la couronne, n'est nullement la surface originelle d'un récif corallien, mais le résultat de l'abrasion et du nivellement par la mer du sommet d'un édifice de calcaires récifaux, parvenu à la suite d'un exhaussement ou d'un abaissement à un niveau voisin de celle-ci.

Un léger et récent abaissement du niveau de l'océan explique que cette plate-forme montre, sur de nombreux atolls, deux niveaux distincts, mais rapprochés. Le plus inférieur, périphérique et actuel, tendant à se développer vers l'intérieur, coïncide avec le niveau moyen de la mer, l'autre interne, plus ou moins en retrait, le domine de 0,50 à 1,50 m. Un petit escarpement indique généralement la limite de ces deux terrasses. Il est bien visible parfois, surtout du côté du large, mais est souvent oblitéré par les débris coralliens rejetés par les vagues sur le récif et qui assurent aux terres émergées des îlots une certaine protection contre l'érosion marine.

A la partie périphérique, bien apparente, de la plate-forme récifale, légèrement émergée à mer haute et délimitant l'atoll, les auteurs anglo-saxons donnent le nom de *reef-flat* ou de *reef platform*, alors que les

auteurs français la désignent sous des noms divers : platier du récif, plateau des embruns, plateau côtier, plate-forme récifale.

Au moment des tempêtes et surtout lors des cyclones, la mer arrache sur le talus externe et sur la plate-forme récifale des Coraux, dont les débris, roulés et remaniés par les vagues, sont accumulés en retrait sur la plate-forme et refoulés éventuellement jusque sur son niveau supérieur. Il s'agit de débris de toutes dimensions, depuis des graviers jusqu'à des blocs considérables, en même temps que d'abondantes masses de sable coquillier ou à Foraminifères. Ce sont ces matériaux incohérents, projetés par la mer et formant des dépôts pouvant atteindre jusqu'à 6 m de hauteur, qui représentent les points les plus élevés de la plupart des atolls. Les îlots ou *motus*, les seules terres émergées de la couronne, y sont irrégulièrement réparties et n'en représentent qu'une faible partie. Ainsi, à Raroia, la proportion des terres émergées correspond au tiers de la surface de l'anneau corallien, soit une étendue de 21 km². Une végétation halophyte et calcicole a réussi à s'établir sur ces îlots, où les habitants sont parvenus à créer des palmeraies de Cocotiers qui sont leur principale ressource. Ils choisissent de préférence les îlots situés au Nord-Ouest pour construire leurs villages, là où il n'y a pas de passes, le débarquement étant un peu moins malaisé qu'ailleurs dans cette direction.

Le peu d'élévation des Tuamotu met leurs agglomérations dans une situation périlleuse, en cas de grosses tempêtes. L'archipel est heureusement placé dans une zone où les cyclones sont très rares, mais il en survient parfois. Les derniers ouragans désastreux furent ceux de 1878, 1903 et 1906. Des vagues gigantesques submergèrent et balayèrent certains îlots, arrachant les Cocotiers et les habitations. Le cyclone de 1903 éprouva particulièrement des îles telles que Raroia et Hikueru, et l'on compta des centaines de victimes dans l'ensemble de l'archipel.

La plate-forme récifale est constituée par un conglomérat de débris de Coraux remaniés, de toutes grosseurs, très fortement cimentés par du carbonate de chaux, comme l'est apparemment toute la masse de l'édifice sous-marin, d'après ce que nous ont appris les forages effectués en d'autres archipels. A ce propos, il est intéressant de rappeler que certains forages ont mis en évidence des phénomènes de dolomitisation des calcaires récifaux, comme à Kita-Daitô-Zima, mais rien de tel ailleurs, à Bikini par exemple. Dans le cas des Tuamotu, nous ignorons encore jusqu'à quel point il y a pu y avoir dolomitisation des conglomérats récifaux.

La largeur de la plate-forme récifale, normalement recouverte par la mer haute, est très variable, non seulement d'un atoll à l'autre, mais sur un même atoll ; cela peut aller de quelques dizaines de mètres à 200 et même 300 m [fig. 1]. On conçoit que la plate-forme, lorsqu'elle est aussi vaste, puisse offrir des aspects assez différents. Il lui arrive de

montrer des surfaces très égales, parfaitement nivelées, au point de se présenter comme une chaussée régulière, légèrement ensablée par endroits, totalement revêtue d'une mince couche d'Algues calcaires ailleurs, mais sans la moindre tête de Corail vivant. A Tatakoto, en un point où la plate-forme présente une grande régularité, j'ai été surpris de la voir parcourue par un système de longues cassures orthogonales, d'une origine assez énigmatique. Le plus souvent, la plate-forme est fort inégale, creusée de multiples cavités de dissolution, peu profondes mais suffisantes pour que l'eau y stationne d'une marée à l'autre. Ces vasques sont tapissées de Coraux, d'Algues incrustantes et la vie animale y est intense. On peut y voir des Tridacnes, coincés dans le calcaire et ne pouvant qu'à peine s'entrouvrir, des Holothuries, des Anémones de mer, des Poissons de récif et des groupes d'Oursins, en particulier *Heterocentrotus trigonarius* et *Diodema setosum*.

Entre ces bassins, le récif est souvent colonisé par d'assez nombreux groupes de Coraux (*Acropora*, *Heliopora*, *Porites*) [fig. 3]. Mais même là où ces Coraux vivants sont les plus nombreux, ils sont de dimensions réduites et fréquemment arasés par les vagues, de sorte qu'ils ne peuvent modifier sensiblement l'allure de la plate-forme. Très souvent celle-ci apparaît hérissée d'aspérités aiguës et tranchantes, hautes en général de 30 à 50 cm, mais parfois davantage, communiquant au récif l'allure d'un véritable lapiez et résultant de phénomènes de dissolution [fig. 6]. Telle est du moins l'opinion généralement admise. G. RANSON, toutefois, est d'un avis différent et insiste sur le rôle du facteur biologique fondamental des Algues et de divers animaux dans la corrosion des calcaires coralliens. Il y aurait lieu, selon ce zoologiste, de substituer ce rôle progressivement mis en évidence à l'action chimique et mécanique de l'eau de mer, longtemps invoquée pour expliquer le démantèlement des récifs coralliens et la dissolution du calcaire le long des côtes. Les vagues ne font, selon G. RANSON, que terminer le travail des animaux perforants — notamment des Eponges, des Echinodermes, des Mollusques, des Vers et de certains Crustacés, en particulier un Cyrrhipède (*Lithotria nicobarensis*) — et l'action prépondérante des Algues lithophages, qui attaquent sur des surfaces considérables la partie superficielle des calcaires de la plate-forme côtière. Néanmoins, si le résultat de l'activité totale de ces divers organismes est impressionnant, l'action de chacun d'eux est localisée, alors que celle des Algues lithophages, ayant une très vaste dispersion parmi les îles coralliennes, est primordiale dans la dissolution des calcaires sous-marins. Ce sont des *Porolithon*, dont il existe diverses espèces, la plus active étant *P. onkodes*.

Il est vraisemblable que l'action de ces Algues n'est pas négligeable dans bien des cas, mais on ne saurait, je crois, généraliser d'une façon trop catégorique. Il ne manque pas d'exemples, parmi les récifs de Coraux des Tuamotu et d'autres archipels d'Océanie, où l'on ne peut

nier les effets spectaculaires de la corrosion chimique exercée par les pluies tropicales et par la mer, ni minimiser l'effet mécanique des vagues puissantes, chargées de sable, sur des plates-formes côtières très exposées.

Pour en revenir aux aspérités visibles en de nombreux points de la plate-forme récifale — les unes de forme aiguë, d'autres ressemblant souvent à des champignons, leur partie inférieure ayant été progressivement rongée — il est intéressant de noter qu'elles sont des témoins de l'ancien niveau de la plate-forme, ces divers accidents se raccordant à la plate-forme supérieure, située en retrait, l'érosion ayant été plus active et rapide dans la zone périphérique.

Sur cette même plate-forme récifale reposent également, de temps à autre, des blocs, parfois très considérables, qui ne sont aucunement enracinés. Ces *reef blocks* ont été arrachés par les vagues au rebord du talus externe et projetés sur le récif, entraînés parfois jusqu'au rivage [fig. 7]. Ceux de ces blocs qui ont séjourné longtemps à l'air ont acquis une curieuse patine noire, d'où le nom de *negro heads* qui leur est parfois donné [fig. 4]. Ils sont formés par le même conglomérat corallien à éléments grossiers que la plate-forme sur laquelle ils sont échoués.

C'est sur la rive sud du petit atoll de Tepoto que j'ai observé les plus volumineux de ces blocs projetés, certains d'un poids d'une centaine de tonnes ou plus.

Une autre particularité de la plate-forme récifale est la présence d'un seuil d'Algues incrustantes (*Algal rim*), renflement de 10 à 15 m de large et de 15 à 60 cm de hauteur, parfois même de 1 m, situé le long de sa partie externe [fig. 5]. On a longtemps désigné ce bourrelet plus ou moins régulier, à peine accusé le long de certaines côtes, nettement saillant ailleurs, sous le nom de « seuil à *Lithothamnium* », avant de reconnaître que les Algues calcaires dont il est constitué ne sont pas des *Lithothamniées*, mais bien des *Porolithon*.

Ce seuil à *Porolithon*, submergé à mer haute, exondé lorsqu'elle est basse, mais alors continuellement douché par le ressac, n'est pas continu, mais interrompu, à intervalles réguliers, par de larges sillons transversaux (*surge channels*), entamant sur plusieurs mètres de profondeur le rebord externe de la plate-forme. Ces chenaux se poursuivent également sur une certaine distance vers l'intérieur de la plate-forme. Par ces chenaux s'élèvent et refluent constamment la houle et les vagues. Comme le seuil à *Porolithon*, qu'ils recourent, ils sont complètement encroûtés par ces mêmes Algues roses qui colorent ainsi toute la bordure du récif.

Avec le lagon, le seul endroit d'un atoll dont les Coraux vivants sont susceptibles de modifier la topographie est le talus externe du récif, où ils peuvent atteindre un important développement. Cette zone latérale de croissance du Corail, qui s'abaisse jusqu'à la profondeur d'une quarantaine de mètres, est qualifiée par les auteurs de *living Coral zone*. Le talus externe n'est pas toujours aussi abrupt qu'on se le représente ; il

est souvent interrompu par des ruptures de pentes et des replats. J'ai observé à la périphérie de plusieurs atolls, à Takume et à Tatakoto entre autres, au moins localement, une pente externe modérée et progressive, au point qu'à 100 et même 150 m de la rive, la profondeur ne dépassait pas une vingtaine de mètres, la limpidité de l'eau permettant d'apercevoir les puissantes colonies de Madrépores prospérant sur le fond de la mer.

La partie de la plate-forme le plus en retrait se relevant insensiblement n'est normalement pas recouverte par la mer, pour peu qu'elle soit suffisamment large. Par gros temps, les vagues y pénètrent occasionnellement, refoulant alors des débris de coraux, de coquillages et du sable riche en Foraminifères. Ces matériaux incohérents participent à la formation de ce curieux dépôt qu'est le *beach rock* ou roche de plage, souvent présente à la périphérie des îlots. Elle se présente sous la forme de grès grossiers réunissant les éléments détritiques indiqués. Ces grès affectent l'allure de dalles plus ou moins fortement inclinées, se chevauchant. Leur pendage originel, oscillant entre 10° et 15° , correspond souvent à l'inclinaison de la plage où elles se sont formées, mais ce n'est pas nécessairement le cas. Ainsi, en un endroit de Napuka, ces dalles inclinées se succèdent sur une largeur d'une centaine de mètres, sur une surface parfaitement plane, ne permettant guère d'expliquer leur pendage [fig. 10].

Ces roches de plage ont superficiellement une assez grande cohésion, mais celle-ci diminue rapidement en profondeur. A Tepoto, sous une dalle très durcie, j'ai constaté qu'à 20 cm de la surface le sable n'était pour ainsi dire plus cimenté. Il est certain que lorsque les insulaires prélèvent des dalles de roche de plage pour divers usages, pour faire des socles de case en particulier, elles durcissent plus fortement, à la suite d'une exposition prolongée à l'air, que les dalles demeurées en place.

Plusieurs explications ont été données au sujet de la consolidation naturelle des sables et graviers coralliens, phénomène nullement spécial aux atolls, mais qui se produit avec tout autant de netteté sur les plages bordées de récifs, autour de nombreuses îles montagneuses de l'Océanie (îles de la Société, Nouvelles-Hébrides, etc.). W. D. NESTEROFF (1956) et G. RANSON ont émis l'idée que le durcissement de cette roche de plage était dû à la précipitation du carbonate de chaux sous l'action de bactéries. On a opposé à leur point de vue la proportion insuffisante de matière organique dans le sable, pour permettre un tel processus. D'autres auteurs ont plutôt vu là l'effet de l'eau de mer interstitielle, surchargée de carbonate de chaux, montant par capillarité au moment de la marée basse et s'évaporant en abandonnant ses sels. On a fait aussi intervenir l'action de la chaleur solaire sur les plages, durant la journée : diminuant la solubilité du CO_2 dans l'eau interstitielle proche de la surface, elle en élèverait le pH, de sorte que si l'eau était initialement

proche de son point de saturation, il y aurait précipitation du carbonate de chaux.

Les remparts sont des levées de débris coralliens édifiées par la mer le long des côtes les plus exposées, le plus souvent à l'Ouest, où déferlent, entre décembre et mars, les plus fortes houles [fig. 2]. Ces remparts recouvrent parfois l'espace occupé par la roche de plage, mais se dressent généralement plus en retrait, chevauchant la petite dénivellation qui sépare les deux niveaux d'érosion de la plate-forme, se dressant même sur le plus élevé des deux, recouvrant alors la végétation et ensevelissant partiellement les Cocotiers. Ces levées de graviers et de blocailles ont une hauteur comprise entre 3 et 5 m. Leur crête marque le point le plus élevé de l'atoll, soit environ 6 m, puisqu'ils reposent généralement sur le niveau supérieur de la plate-forme, haut de 1 m en moyenne.

De longues sections d'îlots sont bordées, face à l'océan, par un seul rempart, mais il peut y en avoir deux, bien individualisés et disposés parallèlement. Dans ce cas, la levée interne, la plus ancienne, est habituellement la plus élevée. A Tauere, où ces deux remparts sont particulièrement importants et étalés, ils occupent ensemble une bande de terrain de près de 100 m de large.

Un peu partout où se dressent de tels dépôts, on remarque que le plus externe et récent, formé d'éléments coralliens d'un blanc crayeux, contraste avec l'aspect très sombre, d'un gris cendré, de la levée interne édifiée antérieurement. Il en est de même des blocs projetés sur la plate-forme récifale et d'une façon générale de toute la blocaille amoncelée par la mer sur les parties émergées des îlots. Très blancs à l'origine, ces matériaux coralliens longuement exposés à l'air deviennent progressivement ternes et noirâtres [fig. 4-8].

G. RANSON a donné une explication très valable de ce phénomène. Il est dû à la présence d'une Algue perforante : *Entophysalis granulosa*, de la famille des Cyanophycées, particulièrement abondante dans la zone des embruns, où elle joue un rôle important comme agent de dissolution des calcaires récifaux. Cette Algue lithophage, qui prolifère rapidement, assombrit ainsi les surfaces calcaires attaquées, montrant toutes une érosion en cupules, séparées par de minces arêtes tranchantes.

On pourrait penser que le conglomérat corallien de la plate-forme récifale se poursuit sur toute la largeur de la couronne. Ce n'est pourtant pas toujours le cas, du moins sur de nombreux îlots. En examinant en divers endroits, sur plusieurs atolls, les trous creusés par les insulaires, trous profonds de 2 à 3 m, ouverts aux points les plus bas afin de se procurer de l'eau, sinon douce, du moins modérément saumâtre et utilisable pour divers usages, je n'ai nulle part retrouvé le conglomérat en question. Les différents trous examinés laissaient apercevoir uniquement des matériaux meubles, tels que des sables roux à *Amphistegina lessoni*, des

coquilles de Gastéropodes et de Lamellibranches, en particulier de Tridacnes, et des débris de Coraux très remaniés.

Ces constatations faites dans les puits et les trous de culture, où l'on plantait autrefois des Taros, des atolls de Taiaro, Tauere, Tatakoto et Puka Puka, confirment les résultats obtenus à Rarioa par N. D. NEWELL (1954). Ce dernier pratiqua sur l'îlot de Garumaoa cinq puits de 2 à 3 m, à travers la couronne de l'atoll qui, tous, lui montrèrent une succession de sable et de gravier plus ou moins grossier, sans rencontrer non plus, contrairement à son attente, le conglomérat corallien. Cette absence pourrait être due à un léger abaissement du niveau de la mer, suivi d'une érosion accrue du conglomérat récifal.

Aux Tuamotu, la plupart des atolls ont un lagon unique, certains deux et quelques-uns aucun, soit qu'il n'ait jamais existé, soit qu'il ait été comblé naturellement par des apports de vase et de sable calcaires. Ce cas est en voie d'achèvement à Napuka et il est déjà réalisé dans le petit atoll voisin de Tepoto, réduit aujourd'hui à l'état de « récif tabulaire » (*table reef*).

Il semble qu'à l'exception des lagons de Rarioa et d'Hikueru aucun autre n'ait encore été l'objet de sondages et d'investigations systématiques. Il est à présumer que, d'une façon générale, le profil de la cuvette ne diffère pas notablement de ce qui a été observé dans d'autres archipels, dont le fond présente de grandes irrégularités, dues à la croissance rapide de très nombreux pâtés de Corail (*Coral knoll, Patch reef*), souvent fort étendus et se développant jusqu'à proximité de la surface. Les études de la mission américaine à Rarioa ont montré l'importance et le nombre de ces têtes et pâtés de Corail en plein développement. Avec la pente externe, c'est donc actuellement le lagon qui est la partie la plus vivante des atolls. La croissance des Coraux et l'active sédimentation qui se produit dans tous les lagons participent d'une façon plus ou moins rapide à leur comblement inévitable.

Tous les lagons que j'ai examinés se caractérisaient par des rives basses, sablonneuses en général, avec formation locale de roches de plage. En aucun point je n'ai vu affleurer à proximité le rebord interne de la plate-forme récifale avec son conglomérat grossier caractéristique. Je n'ai pu observer non plus le petit escarpement correspondant à celui visible du côté de la mer et reliant les deux niveaux d'érosion signalés.

Bien des points concernant la morphologie des atolls n'ont pas encore été clairement expliqués. L'origine du lagon en est un. Les diverses interprétations envisagées ne donnent pas entière satisfaction. Retenons de celles-ci l'hypothèse de F. P. SHEPARD (1948), voulant que le lagon soit le résultat d'une dissolution sub-aérienne, ayant attaqué au cours d'une phase d'abaissement du niveau marin, survenue au Quaternaire, les larges plates-formes d'abrasion de calcaire corallien édifiées antérieurement. Le relèvement des bords s'expliquerait par une croissance plus

rapide des Coraux installés à la périphérie que de ceux vivant dans le lagon.

Il a semblé à G. RANSON que les Coraux fixés sur les pentes externes des atolls du groupe avaient un plus faible développement et une croissance moins vigoureuse que dans les archipels de l'Ouest du Pacifique. S'appuyant sur cette constatation et sur l'importance négligeable des récifs coralliens autour des îles Marquises, il a attribué cette différence aux températures de l'océan supposées plus basses dans sa partie orientale et donc préjudiciables aux Madrépores. L'argument est ingénieux et mérite, selon N. D. NEWELL, d'être étayé par de minutieuses mesures de température de la mer parmi les Tuamotu. Il estime toutefois que le manque de vigueur signalé chez ces organismes est quelque peu exagéré. Lui-même a relevé à Raroia, en 1952, une température moyenne de 26° pour les eaux superficielles, au cours des mois les plus frais de l'année, ce qui est amplement suffisant pour permettre une croissance normale des Coraux. Il n'est pas exclu qu'en certaines circonstances des remontées d'eaux profondes, relativement froides, puissent se produire dans les parages de l'archipel, ce qui confirmerait le point de vue exposé par G. RANSON.

L'attention a été attirée sur le niveau légèrement plus élevé de certains atolls, plus spécialement situés dans le Nord-Ouest du groupe. Il est à présumer que les cotes indiquées se rapportent au niveau de la plate-forme récifale, par rapport à celui de la mer et non pas aux terres émergées les plus élevées, correspondant habituellement, on l'a vu, à la crête des remparts. Parmi ces atolls-là, citons Rangiroa (+ 5 m), Kaukura (+ 5,50 m), Matahiva (+ 3,50 m), Anaa (+ 6 m) et Niau (+ 6,50 m). En longeant cette dernière île, on se rend nettement compte du léger exhaussement qu'elle a subi [fig. 8]. Des dépôts de boues phosphatées ont été signalés dans le fond de son lagon fermé.

De tout l'archipel des Tuamotu, l'île ayant subi le soulèvement le plus considérable est Makatea. Cette île est remarquable à divers points de vue, par les hautes falaises abruptes qui l'entourent [fig. 9], par ses pentes sous-marines très raides jusqu'au-delà de l'isobathe de 300 m, par sa configuration vallonnée, sa topographie karstique et enfin en raison de l'existence d'un important gisement de phosphate de chaux, exploité activement et proche de son épuisement.

L'île est relativement petite avec 7,5 km de long sur 4 km de large et une superficie de 28 km². Les parties les plus élevées se trouvent à l'Ouest (90,07 m) et au Nord (110,61 m). Sa surface ondulée ne correspond pas à une plate-forme d'abrasion marine, comme les atolls examinés précédemment, mais semble plutôt le résultat d'une assez longue période d'érosion sub-aérienne. Une dépression, située entre les cotes 45 et 50, occupe une bonne partie de l'intérieur, qui correspond à l'emplacement d'au moins deux anciens lagons. Deux étroites plates-formes

LÉGENDES DES PHOTOGRAPHIES

- Pl. I :
1. — Atoll de Raroia. La couronne de l'atoll recouverte de débris de Coraux, le long d'une section recouverte parfois par la mer. Entre l'île de Garmaoa et les îlots (au loin) proches de la passe de Garue.
 2. — Atoll de Napuka. Jeune rempart de débris de Coraux remaniés.
 3. — Atoll de Takume. Coraux vivants (*Acropora*) sur la plate-forme récifale à mer haute.
 4. — Atoll de Raroia. Bloc de conglomérat corallien arraché par la mer au rebord externe de la plate-forme récifale et projeté sur celle-ci.
- Pl. II :
5. — Atoll de Napuka. Seuil à *Porolithon*, peu élevé et très étalé à la limite externe de la plate-forme récifale. Au fond et à droite, deux blocs de calcaire corallien arrachés au talus externe et rejetés par la mer.
 6. — Atoll de Tatakoto. Plate-forme récifale découverte à marée basse, avec phénomènes de dissolution des calcaires coralliens. Absence totale de Coraux vivants.
 7. — Atoll de Tepoto. Blocs énormes de conglomérat récifal arrachés au talus externe et entraînés jusqu'à la limite des terres émergées.
 8. — Atoll de Niau. Vue prise du large et montrant la côte légèrement soulevée (5 m). Les parties sombres du rivage sont des affleurements de conglomérat corallien, partiellement dissimulés ailleurs par des sables coquilliers et coralliens clairs.
- Pl. III :
9. — Atoll soulevé de Makatea. Les falaises abruptes de la côte nord-est à l'extrémité nord de la plage de Momu. Une encoche horizontale, due à l'érosion marine lors d'un temps d'arrêt dans le soulèvement de l'île, est visible entre les cotes 7 et 10. Au premier plan, la plate-forme récifale, d'une surface très irrégulière (lapiez).
 10. — Makatea. Formation de la « roche de plage » (grès corallien grossier) en dalles inclinées sur la plage à peu près horizontale de Momu.
 11. — Makatea. Une cavité de dissolution dans les calcaires coralliens dolomités du sommet de l'île. Cette poche, en cours d'exploitation, est encore partiellement remplie de nodules phosphatés (colophanite).
 12. — Makatea. Topographie karstique sur l'emplacement d'un ancien lagon occupant la dépression centrale située au sommet de l'île. Vue prise après l'exploitation du phosphate de chaux et montrant les poches vidées de leur contenu.

Photographies de l'auteur.



Fig. 1



Fig. 2

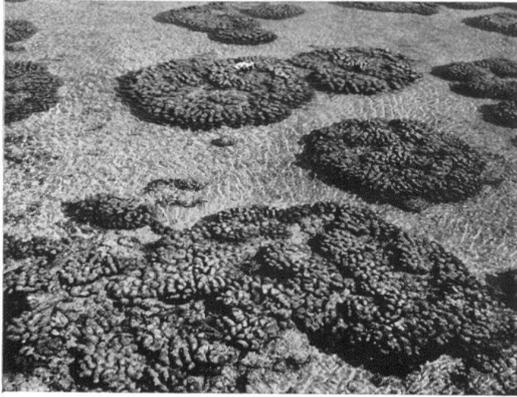


Fig. 3



Fig. 4

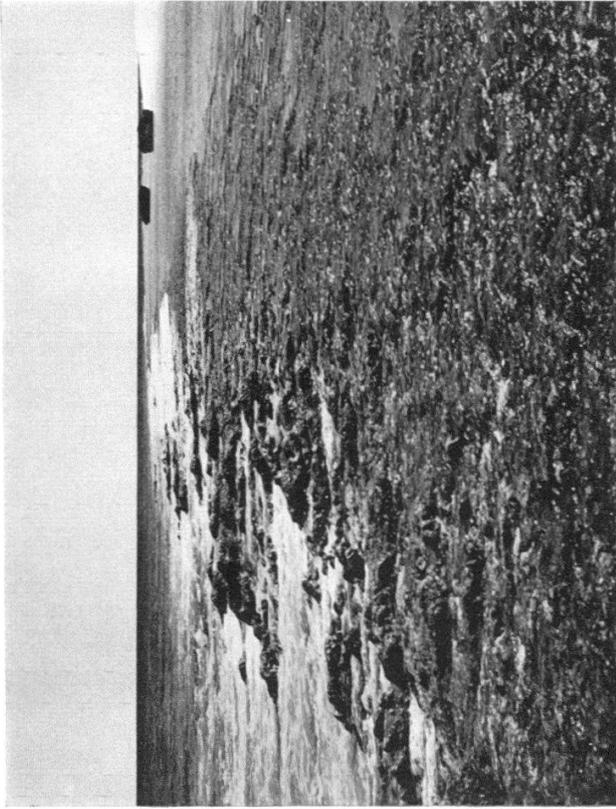


Fig. 5

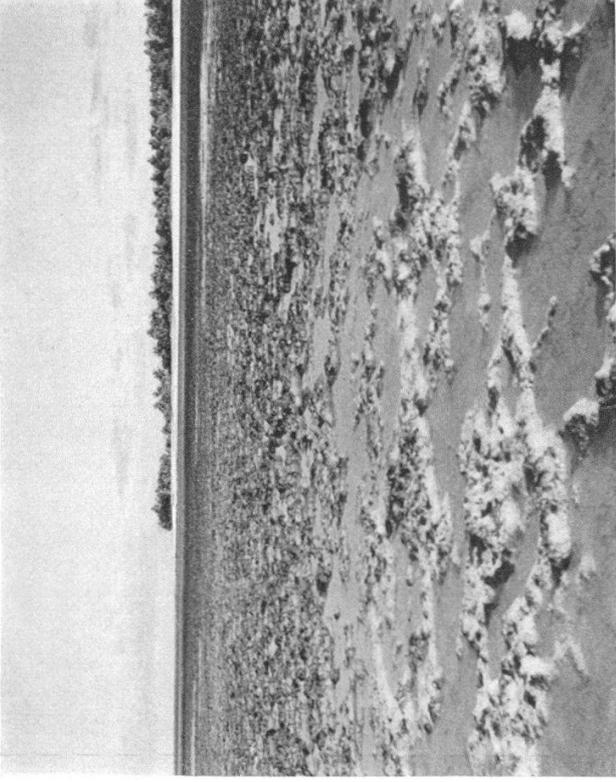


Fig. 6

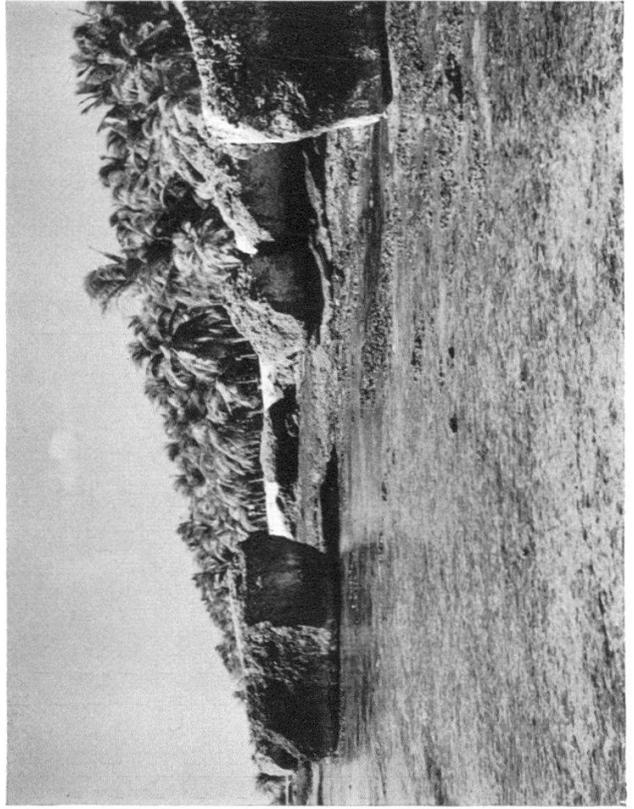


Fig. 7

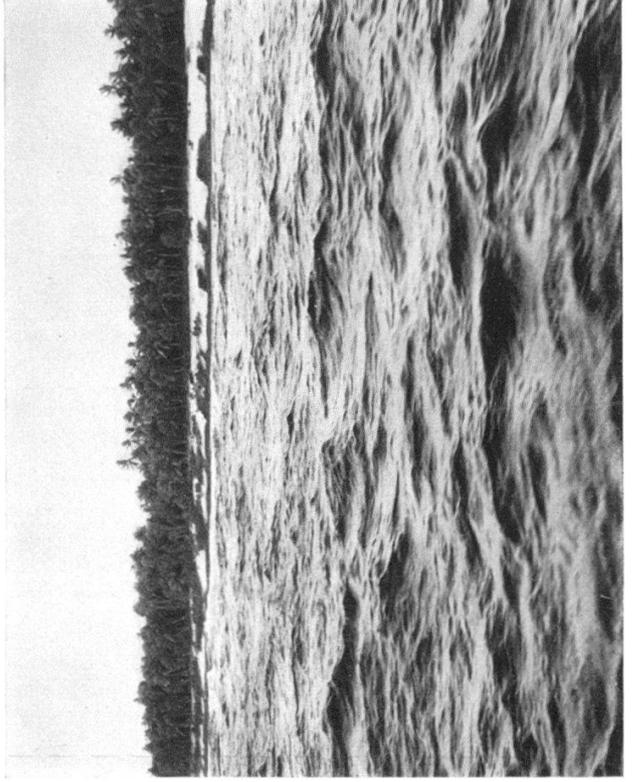


Fig. 8



Fig. 9



Fig. 10



Fig. 11



Fig. 12

récifales, au niveau de l'océan longent sur quelque distance le pied des falaises, l'une à Momu [fig. 9-10], dans l'Est, l'autre à Temao, au Nord-Ouest, où se trouve la majeure partie des installations de la *Compagnie Française des Phosphates de l'Océanie*, qui exploite les dépôts de phosphate.

Une bonne étude géologique de Makatea a été faite par J. M. OBELLIANE (1958) ; il a montré la présence, au centre de la partie déprimée, de dépôts de calcaire crayeux, occupant les anciens lagons, avec une bordure de calcaires coquilliers, la périphérie de l'île étant constituée par des calcaires coralliens récifaux. Une couche phosphatée continue recouvre les calcaires crayeux et coquilliers à l'emplacement de ces anciens lagons. Le phosphate est extrait de poches de dissolution de dimensions très variables, ouvertes dans des calcaires stériles fortement dolomitisés [fig. 12]. Il s'agit de sables phosphatés, avec des nodules plus ou moins volumineux de colophanite, dont la teneur en phosphate tricalcique est comprise entre 80 et 90 % [fig. 11]. Selon des informations apportées récemment par F. DOUMENGE (1963), ce gisement, exploité depuis le début du siècle et qui fournit entre 300 000 et 350 000 tonnes de phosphate annuellement, ne disposait plus, en 1962, que d'une réserve de l'ordre de 1 400 000 tonnes, soit de quoi produire encore pendant quatre ans.

La plupart des auteurs s'accordent pour attribuer l'origine du phosphate de Makatea à la réaction produite par les énormes quantités de guano, provenant d'immenses colonies d'oiseaux de mer, sur des calcaires crayeux, comme cela s'est produit pour beaucoup de gisements similaires. G. RANSON émet une hypothèse très différente. Il se demande si le phosphate de Makatea ne proviendrait pas directement des calcaires récifaux. Ceux-ci, du fait de leur origine, contiennent en effet de 4 à 10 % de matières organiques. Ce sont donc des organo-calcaires. A cette matière organique originelle s'est ajoutée celle des Poissons qui pullulaient certainement dans le lagon de Makatea avant la surrection de l'île. De nouvelles investigations diront si cette hypothèse originale est fondée.

Les quelques vues exposées dans ces pages, à propos de l'archipel des Tuamotu, montrent combien sont complexes les problèmes soulevés par l'étude des îles coralliennes. Des interprétations nouvelles et originales ont été présentées, qui méritent d'être approfondies. Dans ce vaste groupe d'atolls de la Polynésie orientale, nombreux demeurent ceux dont on sait encore peu de chose. On peut espérer que de prochaines investigations apporteront une utile contribution à une meilleure connaissance de ces édifices coralliens.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT DE LA RÛE, E. 1959. — Etude géologique et prospection minière de la Polynésie française. In *Recherche géologique et minérale en Polynésie française* (Paris), p. 7-43, pl. I-XIII.
- COUTHOUY, J. P. 1844. — Remarks on coral formations in the Pacific. *Proc. Geol. Soc. London*, 4, 66-105, 137-162.
- DARWIN, CH. 1837. — On certain areas of elevation and subsidence in the Pacific and Indian Oceans as deduced from the study of coral formations. *Proc. Geol. Soc. London*, 2, 552-554.
- DAVIS, W. M., 1928. — The Coral Reef Problem. *Amer. Geogr. Soc. Publ.*, 9, 596 (New York).
- DOUMENGE, F. 1963. — L'île de Makatea et ses problèmes. *Cahiers du Pacifique* (Paris), 5, 41-68.
- GUILCHER, A. 1950. — Les récifs coralliens. Formes et origines. *L'Information géographique* (Paris), 5, 183-196.
- HAMILTON, S. L. 1956. — Sunken islands of the mid-Pacific mountains. *Geol. Soc. of America, Mem.* 64.
- NESTEROFF, W. D. 1956. — Erosion et cimentation des calcaires dans les eaux tropicales. *Congrès Géol. Internat. Mexico*.
- NEWELL, NORMAN D. 1954 a. — Expedition to Raroia, Tuamotus. *Atoll Research Bull.*, 31, 1-23, 1 carte. (The Pacific Science Board, Washington D.C.)
- 1954 b. — Reefs and Sedimentary Process of Raroia. *Ibid.*, 36, 1-35.
- OBELLIANE, J. M. 1958. — Le gisement de phosphate tricalcique de Makatea (EFO). Ecole sup. nat. Géologie, Nancy.
- RANSON, G. 1953. — Observations sur les îles basses de l'archipel des Tuamotu (Océanie française). *C.R. Ac. Sc.* (Paris), 236, 2529-2531.
- 1955 a. — Observations sur les principaux agents de la dissolution des calcaires sous-marins dans la zone côtière des îles coralliennes des Tuamotu. *C.R. Ac. Sc.* (Paris), 240, 806-808.
- 1955 b. — Observations sur les îles coralliennes de l'archipel des Tuamotu (Océanie française). *C.R. somm. Soc. Géol. Fr.*
- 1955 c. — Observations en Océanie française sur la formation des récifs-barrières et des atolls. *C.R. Ac. Sc.* (Paris), 240, 898-900.
- 1958 a. — Coraux et Récifs coralliens (Bibliographie). *Bull. Inst. Océanographique*, n° 1121, 80 p.
- 1958 b. — Observations sur les îles coralliennes de l'archipel des Tuamotu (Océanie française). *Cahiers du Pacifique* (Paris), 1, 15-36.
- 1962. — Missions dans le Pacifique (Récifs coralliens — Huîtres perlières). Edit. P. Lechevalier, Paris, 99 p.
- SHEPARD, F. P. 1948. — Submarine Geology. Harper Edit., New York.
- STEARNS, H. T. 1946. — An interpretation of Coral Reef Hypotheses. *Amer. Journ. Sc.*, 244, 245-262.
- WIENS, HEROLD J. 1962. — Atoll Environment and Ecology, 532 p., 88 fotogr. Yale Univ. Press, New Haven and London.