

Etude du milieu terrestre des atolls de la Polynésie française

Caractéristiques et potentialités agricoles

R. JAMET (1), J. TRICHET (2)

(1) ORSTOM, Centre de Bondy, 70-74, route d'Aulnay 93140 Bondy

(2) Université d'Orléans, Laboratoire de Géologie de la Matière organique, B.P. n° 6759, 45067 Orléans Cédex 2

RÉSUMÉ

Du récif barrière de l'île haute à l'atoll, tous les types de récifs coralliens sont représentés en Polynésie française. Les parties émergées de ces récifs, en forme de couronnes ou de chapelets d'îlots (« motu ») constituent le quart (soit 1 000 km²) du domaine terrestre du Territoire.

Les « motu » sont faits de débris organogènes issus du récif. Accumulés sur le platier et triés par les houles cycloniques, ces débris s'étalent, des plus grossiers aux plus fins, selon une pente douce de la côte océanique jusqu'au lagon.

Malgré une pluviosité relativement importante, le déficit hydrique est de règle sur les atolls durant la majeure partie de l'année. L'eau douce ne fait cependant pas défaut : elle est stockée sous forme de lentille à faible profondeur ; son importance est liée à la taille de l'îlot.

Il existe des interrelations entre types de sols, substrat et couvert végétal : rendzines humifères ou modales sur substrat calcaire sableux ou sur « karst » à recouvrement sableux, rendzines ou sols peu évolués sur substrat graveleux ou rocaillieux, sols hydromorphes à anmoor calcique, sols semi-tourbeux ou tourbeux dans les dépressions marécageuses.

Afin de remédier à la pauvreté native de ces sols, des techniques culturales originales sont utilisées sur les îlots coralliens (cultures sur terre volcanique d'apport, aménagement de « fosses de culture »). Cependant, hormis la pêche, l'activité principale de l'atoll est encore l'exploitation des cocotiers qui recouvrent la majeure partie des « motu ».

MOTS-CLÉS : Polynésie — Atolls — Corail — Eau douce — Substrat calcaire — Rendzines — Cocotiers.

ABSTRACT

STUDY OF THE EMERGED LAND OF ATOLLS IN FRENCH POLYNESIA. CHARACTERISTICS AND AGRICULTURAL POTENTIALITIES

From the barrier-reef of the high islands up to the atolls, all types of coral-reefs are present in French Polynesia. The emerged parts of these reefs is crownshaped or forms a string of little islands (« motu ») ; their surface represents a quarter (1 000 sq.km) of the land of the Territory.

The « motu » are made of coral debris coming from the reef. Piled up on the reef flat and sorted by the cyclonic swells, these debris spread out, from the coarsest to the finest, along a gentle slope from the oceanic coastline to the lagoon.

Although rainfall is relatively important, hydric stress occurs for the most part of the year. Nevertheless fresh water is always sufficient ; it is stored in a pocket not very deep in the ground ; its volume is in relation to the size of the island.

Relationships are found between types of soils, substratum and vegetal cover : humic or typic rendolls on calcareous sandy rocks or on « karst » covered with sands ; rendolls or lithosols on gravelly or rocky substratum ; hydromorphic soils with calcic anmoor and eutrophic peaty soils in marsh lands.

To reduce the native deficiency of the soils, specific farming methods are used in the coral islands (cultivation on transported volcanic ground, digging of « cultivation pits »). Nevertheless, except for fisheries, the main activity is always coconuts cropping.

KEY WORDS : Polynesia - Atoll — Coral — Fresh water — Calcareous substratum — Rendolls — Coconut palm.

INTRODUCTION

La Polynésie française s'étend sur un domaine maritime aussi vaste que l'Europe entière, mais la superficie de ses 118 îles n'atteint pas 4 000 km². Dans cet ensemble, on ne dénombre pas moins de 84 îles basses ou atolls ; leur partie émergée, à laquelle on peut ajouter les îlots coralliens du complexe récifal des îles hautes, dépasse à peine 1 000 km².

De nombreuses expéditions scientifiques se sont succédées sur ces atolls depuis le début du siècle dernier, avec pour objectif essentiel l'étude des formations récifales immergées. Quant aux parties émergées, les recherches les concernant n'ont été entreprises que tout récemment. Les premiers travaux de TERCINIER sur l'atoll de Rangiroa datent du début des années 50, ceux relatifs à la nappe d'eau douce (X. MEYER), de la fin des années 70.

Les liaisons aériennes avec les atolls, depuis Tahiti, sont peu nombreuses ; les liaisons maritimes souvent aléatoires ; aussi l'installation par l'ORSTOM, en 1983, d'une station permanente sur l'atoll de Tikehau, à quelque 300 km au nord de Tahiti, a-t-elle favorisé le développement des recherches portant sur l'ensemble de l'écosystème lagunaire (INTÈS, 1984). Parmi celles-ci, les auteurs présentent ici l'étude des sols développés dans ce milieu corallien si particulier ou plus précisément l'étude écologique du milieu terrestre soulignant les relations existant entre la morphologie, les sols, et la végétation qu'ils supportent.

1. LES ATOLLS ET LES CEINTURES CORALLIENNES DES ÎLES HAUTES DE POLYNÉSIE FRANÇAISE

Allongé selon un axe nord-ouest/sud-est, sur plus de 1 500 km, entre les parallèles 15° et 22° sud et les méridiens 134° et 150° ouest, l'archipel des Tuamotu regroupe 76 (dont 42 habités) des 84 atolls de la Polynésie française. Ces anneaux coralliens de taille variable (3 à près de 80 km) sont de deux types : atolls ouverts à une ou plusieurs passes tels Tikehau ou Rangiroa et atolls fermés, les plus nombreux, sans passe mais à *hoa* (dépressions peu profondes entaillant la partie interne du platier) fonctionnels ou non. Certains de

ces atolls sont presque comblés. Il s'y ajoute un atoll de type particulier, l'atoll soulevé de Makatea.

L'archipel de la Société ne comporte que cinq atolls fermés ou presque, quatre en son extrémité nord-ouest et Tetiaroa au large de Tahiti. Mais ici chacune des îles hautes volcaniques est enfermée dans l'anneau corallien du récif barrière. Des portions plus ou moins étendues de celui-ci émergent, constituant autant d'îlots coralliens (*motu* en tahitien) identiques à ceux des atolls. A Tahiti et Moorea, îles jeunes au lagon étroit, les *motu* sont pratiquement inexistantes. Ils prennent de l'importance au nord et à l'ouest de Huahine où le lagon demeure étroit. Celui-ci s'élargit à Raiatea et à Tahaa où le récif n'émerge que très localement. Il n'en est plus de même pour les îles les plus anciennes de Bora-Bora et Maupiti (3,3 et 4,3 M.A. - SEMAH 1978). Dans ces deux îles, et particulièrement à Maupiti, seule une faible partie du cône volcanique émerge encore ; le lagon s'étend, des *motu* se sont constitués sur une importante portion du platier récifal. A Bora-Bora ces îlots s'étendent sur 6 km² et sur une longueur de 8 km soit la moitié de la périphérie de l'île haute et davantage encore à Maupiti.

L'Archipel des Gambiers comporte deux atolls et un récif barrière de 90 km entourant l'ensemble des îles hautes d'où n'émergent que quelques *motu*. Les formations récifales émergées sont rares dans l'archipel des Australes, inexistantes dans l'archipel des Marquises.

2. ORIGINE DES RÉCIFS BARRIÈRES ET DES ATOLLS ; FORMATION DES MOTU

L'atoll n'est que le récif barrière d'une ancienne île haute aujourd'hui engloutie par l'océan.

J. NEWHOUSE (1980) donne de l'atoll la définition suivante : « Un atoll est un récif vivant séparé de la terre la plus proche d'origine volcanique par des eaux d'une profondeur supérieure à celle à laquelle peuvent vivre les coraux hermatypiques (1). »

C'est un édifice corallien de la zone intertropicale dont seule une petite partie, grossièrement circulaire, émergeant au-dessus du niveau des plus hautes eaux, est visible. La partie construite et immergée de l'atoll plonge

(1) Coraux formant les récifs.

sous l'océan jusqu'à -300, -600 voire -1000 m comme à Hao ou Rangiroa (J.P. BAILLARD, 1981). Les coraux, morts à cette profondeur, y prennent appui sur un support volcanique. C'était jadis un volcan aérien que l'érosion et la subsidence ont fait disparaître dans les flots. Selon J. NEWHOUSE, l'enfoncement serait de l'ordre du centimètre par siècle. Les coraux ne peuvent en effet survivre et se développer que jusqu'à des profondeurs de 50 à 80 mètres, dans cette tranche du milieu marin suffisamment aérée et éclairée. Ils commencent à prospérer à la périphérie du cône volcanique, peu au-dessous de la surface (récif frangeant) et lorsque le volcan s'enfonce, ils se développent pour compenser cette subsidence (formation du récif barrière). Une fois immergée, l'ensemble de la partie sommitale du cône volcanique est aussi colonisé par les coraux mais l'accumulation de sédiments, dans cette partie centrale de l'atoll ainsi constitué, n'y permet qu'une faible croissance des organismes. Seule la partie externe exposée à l'océan demeure bien vivante (crête algale et platier externe).

D'autres phénomènes ont pu, au cours des temps, influencer le lent développement des récifs coralliens : les effets de charge des îles volcaniques voisines (celle provoquée par Tahiti serait à l'origine du soulèvement de l'atoll de Makatea jusqu'à + 70 m : (J.P. BAILLARD, 1981), mais surtout l'eustatisme glaciaire, le dernier abaissement, de 2 à 3 m, du niveau marin datant d'il y a seulement 3 000 ans.

Le platier est une véritable plate-forme corallienne, partiellement morte, dont la largeur va de quelques centaines de mètres à 2 km. Cette dalle sub-horizontale est parcourue par des chenaux et parsemée de « pâtés » coralliens et de cuvettes sédimentaires. La majeure partie en est immergée sous une lame d'eau n'excédant parfois pas 2 ou 3 dm, tandis qu'une proportion variable de sa surface est occupée par des *motu*, petits îlots n'émergeant que de quelques mètres seulement (2 à 6) au-dessus du niveau des marées hautes. Ces *motu*, dont la largeur ne dépasse généralement pas 300 à 400 m, résultent de l'accumulation de débris organogènes sur un soubassement exondé par l'abaissement du niveau marin. Ce soubassement peut correspondre localement à une dalle bioconstruite ou à un conglomérat (GABBRIE *et al.*, s.date). Le conglomérat est un mélange de graviers et de blocs cimentés en milieu immergé et datant du Plio-pléistocène ou peut-être, comme à Tikehau, du Miocène (F.G. BOURROUILH-LE JAN 1984).

Ce sont surtout les violentes tempêtes qui sont responsables de la construction des *motu*, comme en témoignent les accumulations de blocs coralliens constituant le rempart et bordant les plages océaniques. Les fragments arrachés par les vagues sont entraînés d'autant plus loin qu'ils sont plus fins et sont piégés sur le soubassement exondé. Un *motu* unique peut couronner

l'ensemble du platier interne de certains petits atolls ; plus souvent cependant, sur les récifs des îles hautes comme sur les atolls, on peut voir une série de petits îlots séparés par des *hoa* ou de vastes portions de platier immergé.

3. LE MILIEU

3.1. Le climat

Les formations récifales sont situées dans la zone tropicale humide comprise entre le tropique du Capricorne et le parallèle 13° sud. Les températures moyennes annuelles y oscillent entre 27 et 25° du nord au sud. Il y pleut de 1800 à 1300 mm sur les atolls, mais davantage sur les îlots de la périphérie des îles hautes : 2 à 3 m selon qu'ils se trouvent « sous le vent » ou « au vent » de l'île. Ces données ne sont que modérément modulées au gré des deux saisons, l'une chaude et pluvieuse (été austral) de novembre à avril, l'autre un peu plus fraîche et plus sèche (hiver austral).

A Rangiroa, par exemple (15° S) la température moyenne de l'été se situe entre 27 et 28° avec des pointes à 33° ; celle de l'hiver entre 25 et 26°, avec des chutes à 20°, tandis que le thermomètre peut descendre à 16° sur l'atoll le plus méridional.

En certains mois de l'été, les précipitations peuvent atteindre 235 mm à Rangiroa (1700 mm/an) mais seulement 146 mm plus au sud à Mururoa. Elles oscillent autour de 80 mm au cœur de l'hiver, en juillet et août seuls mois secs. Les violentes averses apportant plus de 100 mm en 24 heures ne sont pas exceptionnelles, pas plus que les longues périodes de 10 à 15 jours de sécheresse.

L'humidité relative est toujours très élevée (76 à 80 %). L'insolation, qui atteint de 2700 à 2800 heures par an, favorise une importante évaporation, nettement accélérée, de surcroît, par la constante ventilation assurée par de forts alizés de secteur est. L'évaporation réelle (Piche) atteint de 900 à 1500 mm ; l'évaporation calculée, établie à partir d'un bilan énergétique qui permet de connaître les besoins en eau des plantes, est de 1500 à 1900 mm (Service de la Météorologie, 1983). Elle laisse apparaître un important déficit hydrique durant toute la saison sèche (fig. 1).

3.2. Géomorphologie et roches superficielles

Une coupe transversale des îlots coralliens montre (fig. 2) une côte océanique élevée et une côte lagonaire basse. Elle se présente généralement ainsi :

— après la plage, une pente raide conduit au sommet de la dune océanique (ou rempart) à 5 ou 6 m au-dessus du niveau marin ;

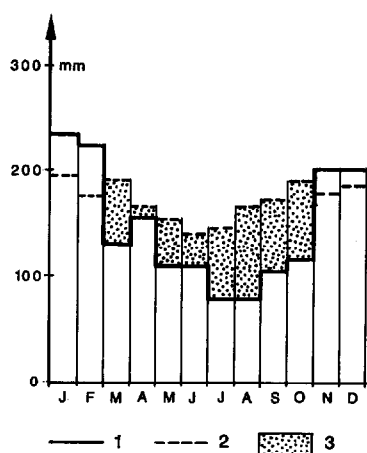


FIG. 1. — Diagramme climatique de Rangiroa
1 - Précipitations moyennes mensuelles. 2 - Evaporation calculée. 3 - Déficit hydrique

— au-delà s'étend un secteur caillouteux, parsemé de blocs coralliens, plan ou de très faible pente vers le lagon ;

— il se prolonge, en direction de celui-ci, par un large secteur en pente douce dont la granulométrie s'affine progressivement ;

— il aboutit fréquemment à une zone dépressionnaire, souvent marécageuse, séparée du lagon par une dune sableuse étroite et peu élevée.

— Cette coupe est sujette à de nombreuses variations : du côté de l'océan, la dune peut prendre de l'ampleur lorsqu'elle s'appuie sur des pitons rocheux (*feo*), reliques d'un récif ancien s'élevant à une dizaine de mètres au-dessus de l'océan. Du côté du lagon, le secteur dépressionnaire marécageux peut gagner jusqu'au centre de l'îlot comme sur le *motu* Tuherahera de Tikehau où sa largeur atteint 200 m (fig. 3).

Les cyclones sont aussi à l'origine de modifications topographiques importantes des franges cotières, tant

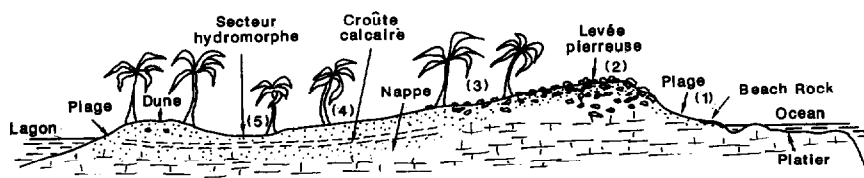


FIG. 2. — Atoll de Tikehau : coupe du *motu* Temaruopapahia. Distribution des sols (voir chapitre 5.2)

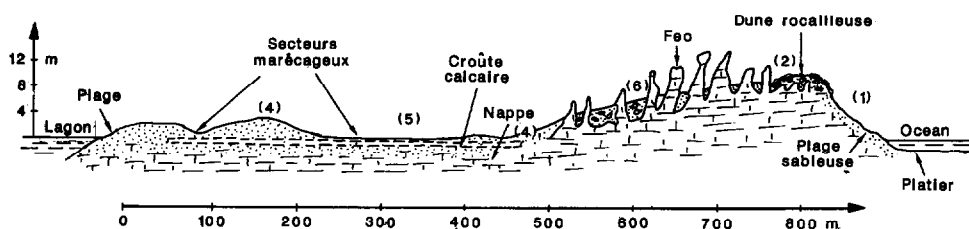


FIG. 3. — Atoll de Tikehau : coupe de l'extrémité S.E. du *motu* Tuherahera. Distribution des sols (voir chapitre 5.2)

océaniques que lagonaires, des *motu* : réhaussement des petites dunes bordant le lagon par des recouvrements sableux ou grossiers (fossilisation de troncs de cocotiers) ; arasement de la dune océanique : les vagues ont localement arraché la végétation, y compris les cocotiers, entraîné et épandu le matériau grossier, les blocs coralliens, sur une profondeur pouvant dépasser 100 m.

Dès l'instant de son accumulation, un tri granulométrique très net a été opéré dans le matériau constitutif des îlots coralliens, par l'eau essentiellement, plus accessoirement par le vent. Cela se traduit par des accumulations grossières du côté de la source d'approvisionne-

ment principal, la côte océanique, plus fines le long de la pente douce menant au lagon. Ainsi se sont constitués deux milieux très nettement différenciés quant aux peuplements végétaux et aux possibilités culturelles, corrélativement par la granulométrie du substrat et la situation sur l'îlot. Un troisième milieu correspond aux secteurs dépressionnaires où la proximité de la nappe induit l'hydromorphie et la constitution de marécages à végétation très spécifique.

Constituants essentiels des îlots, les débris coralliens sont enrichis de sables coquilliers (foraminifères, gastéropodes, lamellibranches) et d'algues calcaires (*Hali-*

TABLEAU I
Analyse totale (%) de divers matériaux constitutifs des îlots coralliens

	Atoll de Tikehau			Bora-Bora Ilot corallien	
	Débris coralliens grossiers (côté océan)	Sables coralliens et coquilliers (côté lagon)	croûte calcaire dure (secteur marécageux)	croûte calcaire tendre (de rendzine)	Sables grossiers (côté lagon)
Echantillons Profondeur(cm)	TIK 12 30-50	TIK 174 100-110	TIK 222 30-40	Bor 433 80-90	Bor 462 30-40
Perte au feu (1000°C)	45,05	44,75	44,65	44,85	44,75
Résidu total	0,25	0,07	0,10	0	0,03
SiO ₂	-	-	-	0,36	0,35
Al ₂ O ₃	0,06	0,01	0,03	0,06	0,05
Fe ₂ O ₃	0,09	0,03	0,08	0,05	0,05
TiO ₂	0,05	0,05	0,06	0,10	0,02
SrO (en CO ₃ Sr)	0,625 (0,89)	0,533 (0,76)	0,612 (0,87)	-	-
CaO (en CO ₃ Ca)	52,0 (92,8)	52,50 (93,7)	53,0 (94,6)	54,10 (96,6)	52,15 (93,1)
MgO (en CO ₃ Mg)	1,48 (3,1)	2,30 (4,8)	1,65 (3,4)	0,20 (0,4)	1,77 (3,7)
K ₂ O	0,001	0,001	0,001	0,02	0,02
Na ₂ O (en CO ₃ Na ₂)	0,72 (1,2)	0,36 (0,6)	0,40 (0,7)	0,22 (0,4)	0,40 (0,7)

meda). L'ensemble constitue la « roche-mère » des sols d'atolls. Elle est donc presque uniquement faite d'éléments carbonatés, (tabl. I) : carbonate de calcium (aragonite et calcite) pour l'essentiel (93 % en moyenne) et carbonate de magnésium dont la teneur ne dépasse généralement pas 2 à 3 %, mais peut atteindre 8 % lorsque apparaissent des quantités notables de sables à foraminifères (TERCINIER, 1969).

La silice et les éléments métalliques ne sont ici qu'accessoires : il y a des traces à 0,5 % de silice, des traces à 0,10 % de fer et d'aluminium. Le sodium atteint près de 0,8 % mais il n'y a que quelques p.p.m. de potassium. Le strontium se trouve en quantités anormalement élevées pour une roche carbonatée (0,4 à 0,9 %). Il est concentré dans les madrépores (calcaires construits à aragonite) alors que les sables calcitiques à foraminifères en contiennent peu (TERCINIER, 1969). Cela apparaît assez nettement sur l'atoll de Tikehau où les secteurs riches en *Halimeda* figurent aussi parmi les plus riches en strontium.

4. L'EAU DOUCE SUR L'ATOLL

4.1. La lentille d'eau douce

L'eau douce, utilisée pour les besoins familiaux sur

les atolls, est en général de l'eau de pluie recueillie sur les toits des habitations et stockée en citernes métalliques ou de béton. Pour les débits plus importants (hôtels, irrigation) cette récolte n'est plus suffisante, l'eau est alors obtenue par des puits.

Dans chacun des îlots coralliens, des atolls comme de la ceinture des îles hautes, existe en effet une lentille d'eau douce dite de Ghyben-Herzberg ; son importance est fonction de la dimension et de la forme de l'îlot, des précipitations (de la saison) et de la perméabilité du matériau.

Cette lentille se constitue sur l'eau salée sous-jacente, dans le matériau corallien. Plus légère, l'eau douce ne s'y mélange pas, elle flotte sur l'eau salée à la manière d'un iceberg (fig. 4). Une petite partie, dite charge nette d'eau douce, de hauteur h , demeure au-dessus du niveau moyen de l'eau du lagon ou de l'océan, tandis qu'un volume beaucoup plus important, repoussant l'eau salée, pénètre au-dessous de ce même niveau. Sa profondeur H est fonction de la salinité de l'eau de mer. Pour le Pacifique (24 g/l de sel) $H = 27 h$ (loi de Ghyben-Herzberg) ; h et H sont maximums au centre de l'îlot et ils croissent avec le diamètre de celui-ci. Pour l'Atlantique (37 g/l de sel) $H = 40 h$ (MEYER, 1980). La séparation eau douce - eau salée n'est cependant pas aussi

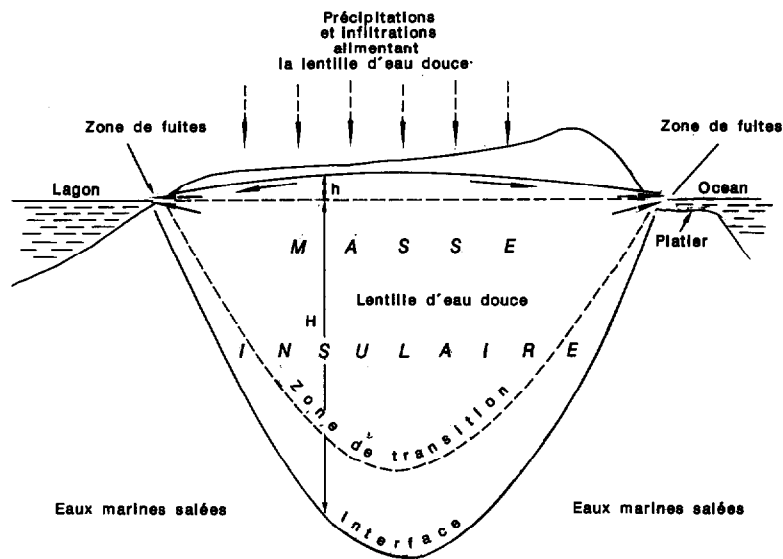


FIG. 4. — La lentille d'eau douce (D'après MEYER, 1980).

nettement définie que, par exemple, celle de l'huile flottant sur l'eau, il existe entre les deux une zone de transition saumâtre due à une certaine diffusion du sel (id.).

La lentille d'eau douce est, depuis quelques années, largement exploitée dans nombre d'îlots, soit pour l'irrigation, soit pour l'usage familial. L'eau est puisée manuellement ou par pompage dans de petits puits de 1 à 3 m. Pour les besoins plus importants des hôtels (quelques dizaines de m^3 /jour) les points de prélèvement à faible débit, par crépines à pointes filtrantes, doivent être multipliés afin d'éviter la remontée de l'eau saumâtre. A Rangiroa, Manihi, la nappe d'eau douce s'enfonce jusqu'à — 12 m, mais le plus grand champ de pompage est actuellement constitué par le *motu* Tevairoa à Bora-Bora. Sur ce grand *motu* pseudo-circulaire de 200 ha, la profondeur de la lentille d'eau douce atteint 27 m en saison sèche, 30 m en saison des pluies, la charge nette étant proche de 1 m. Le volume d'eau stockée se situe entre 3 et 5 millions de m^3 (MEYER, 1980). Il permet l'approvisionnement en eau douce d'une partie de l'île de Bora-Bora à raison d'environ $500 m^3$ /jour ; l'énergie nécessaire est d'origine solaire. Dans la plupart des îlots, dont la largeur moyenne avoisine 200 m, il est ainsi possible d'obtenir l'eau douce nécessaire aux besoins familiaux et à l'irrigation. La nappe étant proche de la surface, les énergies nécessaires au pompage sont très faibles.

4.2. La réserve hydrique du sol

La capacité de rétention (pF2,5) de l'eau par les sols coralliens est en corrélation étroite avec la granulométrie et plus exactement avec la teneur en particules fines argilo-limoneuses. Le sol très grossier du côté de l'océan, renfermant moins de 5 % d'éléments $< 20 \mu m$, retient 10 % de son poids sec d'eau dont seulement 4 % d'eau utile (fig. 5). Côté lagon, où la texture s'affine avec 20 % en moyenne de particules $< 50 \mu m$, la capacité de rétention croît jusqu'à 20 ou 30 %. La capacité au point de flétrissement y étant de 10 à 20 %, il y demeure une réserve d'eau utile de 10 %. L'eau réellement retenue par le sol (profil hydrique) au moment du prélèvement, en saison sèche, apparaît cependant supérieure à celle correspondant à pF2,5, notamment à l'approche de la nappe, grâce aux remontées capillaires (fig. 6).

L'humidité retenue paraît élevée pour des sols sableux. Dans les horizons humifères, la matière organique bien humifiée, très hydrophile, y intervient pour une large part, de même que le calcaire fin. En profondeur, et particulièrement au niveau de la croûte calcaire, le dépôt des carbonates provenant de la dissolution des fragments coralliens confère aussi au sol un pouvoir de rétention élevé pour l'eau (TRICHET, 1969).

Cela ressort nettement sur la figure 6. En outre, les sables eux-mêmes, fins ou plus grossiers, sont microporeux et possèdent un pouvoir de rétention non négligeable (TERCINIER, 1969).

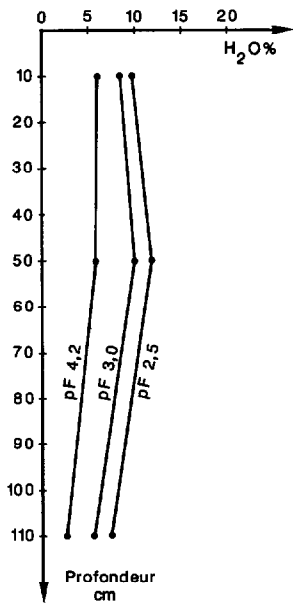


FIG. 5. — Profil Tik 19 : sol peu évolué sur matériau grossier. Courbes caractéristiques de rétention d'eau

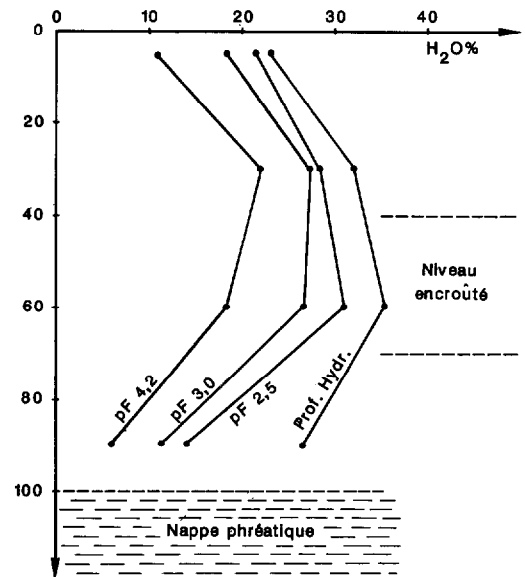


FIG. 6. — Profil Tik 17 : rendzine riche en éléments fins. Courbes caractéristiques de rétention d'eau

5. LES SOLS ET LA VÉGÉTATION : GENÈSE ET RÉPARTITION DES SOLS SUR LES ÎLOTS CORALLIENS

5.1. Processus de la pédogénèse

La genèse des sols, sur ces substrats calcaires, carbonatés, pierreux ou sableux, résulte de trois processus :

— *Un apport de matière organique* dont l'importance est liée à la nature et à la densité de la végétation. Elle peut être pratiquement absente ou au contraire abondante. Elle peut constituer des accumulations superficielles (secteurs marécageux), le plus souvent cependant

elle est intimement mélangée au matériau calcaire fin, sur une profondeur variable parfois importante.

— *Une dissolution partielle et un microfractionnement du matériau calcaire.* Sous l'action des acides organiques, des eaux chargées de gaz carbonique, le calcaire est corrodé, partiellement dissous. Par reprécipitation, il se forme des particules calcitiques de la taille des argiles, puis des limons, voire des sables fins (calcaire actif) (TERCINIER, 1969). Ces « argiles » qui n'excèdent pas 10 % dans les sols sur substrat grossier, dépassent couramment cette teneur sur substrat fin. Elles peuvent dans certains sols très humifères ou hydromorphes, atteindre jusqu'à 30 ou 40 % (Tabl. II).

TABLEAU II
Fractions fines et matière organique (%) dans les horizons de surface

Type de sol	Sol à anmoor (marécage)	Rendzine très humifère sableuse (feo)	Sol hydromorphe (fosse à taros)	Rendzine sur sable grossier	Rendzine sur mat. sablo-graveleux	Rendzine sur sable grossier	Rendzine sur matériau grossier	Rendzine peu humifère graveleuse
Echantillons	Tik221	Tik241	Tik211	Bor421	Bor441	Tik171	Tik161	Tik191
"Argile" 0-2 μm	36,8	29,0	26,9	14,5	8,3	11,9	6,2	4,1
"Limons" 2-50 μm	16,5	10,2	5,8	5,3	14,4	10,4	4,9	2,0
Mat. organique.	31	34,2	25,1	6,7	8,1	3,34	3,71	2,2

— Des dépôts de calcite avec cimentation du matériau détritique. Cette induration affecte la frange capillaire qui surmonte la nappe d'eau douce (TRICHET, 1969) et, comme elle, se rapproche de la surface dans les dépressions et en direction du lagon. De 20 à 50 cm du sol sont ainsi indurés, modérément (croûte tendre) ou fortement (dalle de certains secteurs marécageux), et à des profondeurs variant avec la situation sur le *motu*.

5.2. Principaux types de sols et distribution

De l'océan au lagon, la distribution des sols sur le *motu* est régie par la granulométrie du substrat, la proximité de la nappe et la couverture végétale. Elle se présente généralement ainsi (voir figures 2 et 3) :

(1) *Sols minéraux bruts* englobant les grès de plage (*beach-rocks*) et les accumulations récentes de la bordure océanique.

(2) *Sols peu évolués* du sommet pierreux ou rocailloux de la dune océanique.

Sols calcomagnésiques dont, successivement :

(3) *des rendzines pauvres en calcaire fin* sur substrat graveleux et

(4) *des rendzines riches en calcaire actif* et à croûte calcaire tendre sur substrat sableux.

Sous les forêts à *Pisonia* ou à *Guettarda*, ces dernières s'enrichissent fortement en matière organique : *rendzines très humifères*. Sous ces mêmes forêts les excréments d'oiseaux peuvent y favoriser la formation d'une croûte phosphatée : *rendzines très humifères à croûte phosphatée*.

(5) Sols hydromorphes des dépressions marécageuses : *sols hydromorphes à anmoor calcique* à croûte calcaire dure, *sols tourbeux eutrophes*.

(6) *Des rendzines très humifères* apparaissent aussi, côté océan, sur un substrat karstique à recouvrement sableux (« champs de *feo* »).

5.3. Sols et végétation (1) sur substrats calcaires rocailloux et graveleux

— Sur la bordure océanique des *motu*, les formations récentes ou actuelles, non colonisées par la végétation, sont restreintes aux grès de plage ou *beach-rocks* mis à nu par l'érosion (TRICHET, 1969), à la plage elle-même et à la pente externe de la dune. Il s'agit là de *sols minéraux bruts*.

— Au-delà, s'étend une zone *rocailleuse ou pierreuse* de faible largeur.

• La végétation y est constituée d'arbustes épars et rabougris : *Guettarda speciosa*, *Scaevola serica*, *Tournefortia argentea*, *Suriana maritima*. Un peu plus loin vers l'intérieur elle s'enrichit en diverses espèces :

Euphorbia atoto, *Timonius polygamus*, *Hedyotis romanzoffiensis*, *Pemphis acidula*.

• Le sol est peu évolué : une couche de blocs et cailloux coralliens délavés recouvre un horizon graveleux et grossièrement sableux, épais d'une vingtaine de centimètres, légèrement coloré par la matière organique. Il repose sur un niveau grossier de débris coralliens et coquilliers.

— Après cette zone rocailleuse vient un large secteur au substrat graveleux. Il assure le passage progressif au secteur sableux conduisant au lagon et peut, dans certains îlots, s'étendre très largement vers l'intérieur.

• La végétation est une forêt, ou plutôt un maquis arbustif à *Pandanus tectorius*. A cet élément arborescent dominant on retrouve associées des espèces déjà citées, mais nettement plus développées, de la bordure océanique comme *Tournefortia argentea*, *Guettarda speciosa*, *Scaevola sericea*, *Pepturus argenteus* et aussi le *Pisonia grandis* caractéristique des substrats sableux. Les herbacées y sont rares. Bien que les sols y soient peu favorables, la cocoteraie à parfois été étendue à ce secteur.

• Les sols sont graveleux, voire pierreux, ils renferment des quantités notables de sables grossiers, mais seulement de 2 à 10 % d'« argile ». Ils sont, sur une vingtaine de centimètres, fortement colorés en gris-brun par la matière organique, en gris clair jusqu'à

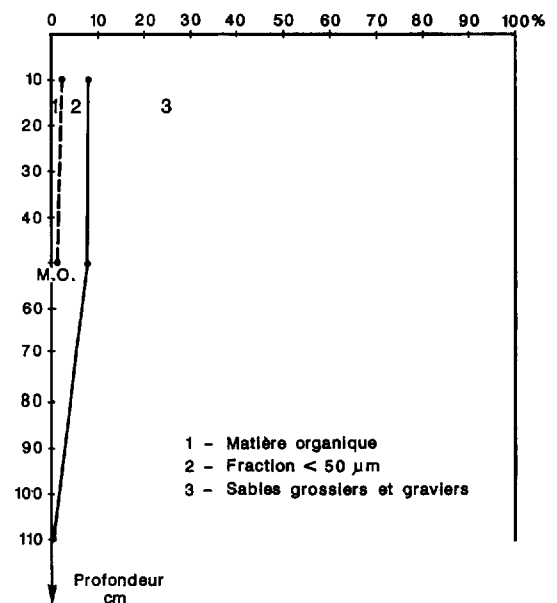


FIG. 7. — Profil Tik 19 : sol peu évolué sur matériau grossier. Texture du sol

(1) Les groupements végétaux cités ont été relevés par J. FLORENCE sur l'atoll de Tikehau (J. FLORENCE 1985).

quarante ou soixante centimètres. Il peut apparaître en profondeur une croûte calcaire tendre (« *papa* » ou « *piriatu* ») associée à la nappe phréatique. Ces sols sont des *rendzines pauvres en calcaire fin*.

La matière organique, généralement bien évoluée, est tout aussi abondante dans ces sols que dans ceux de granulométrie plus fine (voir chapitre suivant) : 4,5 % en moyenne pour 13 profils. Ils sont toutefois bien moins riches que ces derniers en calcaire actif, moins riches aussi en phosphore avec 6 ‰ en moyenne (dont 5 à 10 % sous forme assimilable) et tout aussi pauvres en potassium. Les horizons humifères sont, dans l'ensemble, modérément alcalins (pH de 7,3 à 8,6 — moyenne : 7,9). Leur capacité d'échange, extrêmement variable, va de 2 à 25 mé/100 g et la saturation, par le calcium surabondant essentiellement, et le magnésium (1,7 mé/100g en moyenne) est totale.

5.4. Sols et végétation sur substrat calcaire sableux

Le substrat le plus fin, bien qu'encore grossièrement sableux, occupe en général entre le tiers et les deux tiers des îlots coralliens côté lagon.

LA VÉGÉTATION

Elle était, à l'origine, une forêt à *Pisonia grandis* (le plus grand des arbres des îles basses pouvant dépasser 20 m pour un diamètre de 1 m). Détruite au profit de la cocoteraie, cette forêt a aujourd'hui pratiquement disparu. Il en subsiste cependant des groupements intacts sur certains petits îlots dont le *motu* Tavanja à Tikehau où ils servent de refuge aux oiseaux de mer. En association, on y trouve un autre arbre, *Guettarda speciosa*. En sous-bois, *Pipterus argenteus* est l'arbuste le plus fréquent avec *Morinda citrifolia* et *Euphorbia atoto*. Le tapis herbacé est dense et constitué par *Achrysanthes volutina* qui peut recouvrir jusqu'à 80 % du sol, *Laportea ruderalis*, *Digitaria stenotaphrodes*, *Boerhavia tetrandra*.

Dans les cocoteraies, établies au cours du siècle écoulé, à la place de cette forêt, seuls subsistent parmi les cocotiers (*Cocos nucifera*) des pieds isolés ou de petits bosquets d'arbres des formations primitives. Les arbustes tels que *Euphorbia atoto* et *Morinda citrifolia* y sont plus courants. Le tapis herbacé avec *Triumfetta procumbens*, *Boerhavia tetrandra* et *Lepturus repens* recouvre plus ou moins bien le sol.

LES SOLS

Morphologie

a) Sous les *Pisonia grandis*, il se constitue un important horizon humifère brunâtre, de 20 à 30 cm d'épaisseur, très riche en matière organique et très friable. Les racines y sont abondantes de même que, en surface,

les débris végétaux peu décomposés. Cet horizon repose sur le sable corallien et coquillier beige assez grossier, pénétré jusqu'à une cinquantaine de centimètres par des langues et des poches humifères brunes. Ces sols sont des *rendzines très humifères*.

Dans certains d'entre eux, il apparaît, sous l'horizon organique, une croûte phosphatée : se sont des *rendzines très humifères à croûte phosphatée*. Ces sols se rencontrent comme les précédents sur des « îlots aux oiseaux ». Ils ont été reconnus en particulier sur l'atoll de Fangatafau.

b) Sous les cocotiers, on observe le profil moyen ci-dessous (Tik 17). Il a été observé dans la partie est de l'atoll de Tikehau. Il est situé à 60 m du lagon, à la cote 1,5.

- 0-10 cm : sec ; brun ; humifère ; 25 % de particules < 50 µm ; sables grossiers nettement dominants à gastéropodes et foraminifères ; structure assez nette, grenue moyenne et fine ; très friable ; très poreux ; nombreuses racines fines.
- A11
- 10-30/40 cm : frais ; gris-brun ; pénétration diffuse et en traînées de la matière organique ; plus de 20 % de particule < 50 µm ; même sable grossier ; structure particulière ; racines.
- A12
- 30/40-70 cm : frais ; sable beige grossier ; horizon consolidé par un léger encroûtement ; quelques racines.
- 70-120 cm : très humide ; même sable grossier ; quelques racines. Nappe à 120 cm.
- C

Ces sols sont des *rendzines riches en calcaire actif*.

Propriétés

a) Les *rendzines très humifères de la forêt à Pisonia* sont, sur 20 à 30 cm, très riches en une matière organique bien évoluée (jusqu'à 37 % de m.o. et C/N = 10) (fig. 9). Grâce à elle, ces sols sont les seuls, parmi les sols coralliens à posséder une faible acidité de surface (pH = 6,4) ; ceci leur assure une meilleure assimilabilité du phosphore et une teneur correcte en potassium (0,4 mé/100 g). La capacité d'échange cationique y dépasse 60 mé/100 g et est saturée à plus de 90 % par du calcium essentiellement et du magnésium en quantité suffisante (près de 5 mé/100 g). Ces *rendzines* sont très fortement enrichies en phosphore par des excréments d'oiseaux : près de 14 % de P205 total dans l'horizon A1 dont 1/100^e (1,4 ‰) est sous une forme assimilable (Tabl. III).

Quant à la *croûte phosphatée*, observée dans certains de ces sols, elle apparaît spécifiquement sous de grands arbres supportant d'importantes colonies d'oiseaux. Parmi ces arbres, les *Guettarda* sont les plus remarquables pour la densité des nids et des oiseaux adultes qu'ils supportent. La permanence des oiseaux, jeunes et adultes, sur ces arbres, apparaît tout à fait comme décisive du point de vue de l'apparition de la croûte. Ainsi celle-

TABLEAU III
Des teneurs parfois très élevées mais extrêmement variables en phosphore

	Rendzine sur matériau grossier		Rendzine très humifère sableuse		Rendzine sur sable grossier		Rendzine très humifère sableuse (feo)		Sol à anmoor (marécage)	Rendzine sur sable grossier	Sol hydrom. (fosse à taros)
Echantillons	TIK51	TIK52	TIK111	TIK112	TIK171	TIK172	TIK241	TIK242	TIK221	Bor441	TIK211
Profondeur (cm)	0-10	50-60	0-20	50-60	0-10	20-30	0-20		40-60	0-15	0-20
P205 total	14,8	4,7	133	19,7	10,4	3,05	17,8	4,0	3,7	1,85	18,8
P205 Assim. ‰	0,650	0,049	1,35	2,90	0,196	0,080	0,677	-	0,412	0,060	0,152

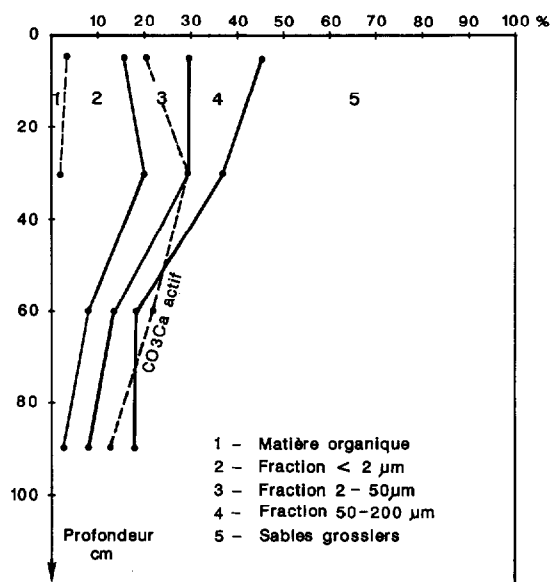


FIG. 8. — Profil Tik 17 : rendzine riche en éléments fins.
Texture du sol

ci ne se développe pas sous les arbres ou les arbustes sur lesquels les oiseaux ne font que poser leurs œufs. Tel est le cas, par exemple, pour l'un des « *motu* aux oiseaux » de Tikehau. La surface du sol sous les couverts de *micki-micki* (*Pemphis acidula*), où les oiseaux, *Gigis alba*, ne séjournent que le temps d'y pondre, apparaît profondément bioturbée par les crabes et n'est nullement le siège du développement d'une croûte.

Là où celle-ci se forme, la partie supérieure du sol présente deux caractéristiques remarquables. La première est la présence d'un horizon organique épais (> 8 cm) montrant le passage d'une litière superficielle à des horizons sous-jacents très bien humifiés ; la seconde est l'adhérence remarquable de la croûte phosphatée à la partie inférieure de ces horizons humifiés qui suggère

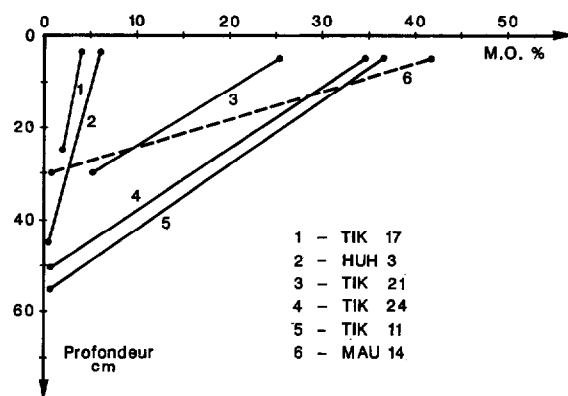


FIG. 9. — Teneur en matière organique de divers sols de l'atoll

1 - Rendzine/sable grossier. 2 - Rendzine/matériau grossier.
3 - Sol hydrom. (fosses de culture). 4 - Rendzine très humifère (feo). 5 - Rendzine très humifère (for. à *Pisonia*).
6 - Sol semi-tourbeux

des relations géochimiques, et peut-être génétiques, entre ces deux formations.

La croûte elle-même a une épaisseur voisine de 1 à 2 cm. Elle présente une cassure à tendance conchoïdale, une teinte gris brunâtre et un éclat rappelant l'éclat métallique.

La teneur en P205 atteint 20 ‰ (Fangataufa, « *motu* aux oiseaux ».)

A l'évidence, le phosphore précipitant au sein de la croûte provient du guano aviaire fourni au sol de façon continue. La partie tout à fait superficielle du sol est une zone réactionnelle remarquable sous l'angle biogéochimique. Il s'y développe des réactions de minéralisation du guano qui conduisent à la libération de quantités importantes d'ions phosphatés (qui réagissent avec des ions calcium présents dans la partie superficielle du sol) ainsi qu'à d'intenses processus d'humification des

éléments de la litière. Les mécanismes de l'association entre la croûte phosphatée et les niveaux organiques humifiés restent encore mystérieux ; mais ils ne sont pas sans rappeler l'affinité existant entre le phosphate de calcium et les composés humiques au sein des *pellets* présents dans les phosphates sédimentaires (BELAYOUNI et TRICHET, 1983).

b) Dans les *rendzines riches en calcaire actif, sous cocoteraies*, la fraction fine ($< 50 \mu\text{m}$) la plus réactive du calcaire peut atteindre 30 %.

Comparativement aux *rendzines* très humifères, la teneur en matière organique décroît ici fortement mais demeure satisfaisante : 4 % en moyenne avec des valeurs extrêmes de 2 à 6 %. Les rapports C/N (moyenne : 12) demeurent le signe d'une bonne activité biologique.

Les capacités d'échange des horizons humifères sont très disparates et ne reflètent pas toujours la teneur en matière organique : 5 à 36 mé/100 g (valeur moyenne : 12,5 mé/100 g). La saturation, par le calcium essentiellement, par le magnésium pour une faible part (1 à 4 mé/100 g) est totale (le potassium n'atteint que rarement 0,1 mé/100 g). Du fait de l'abondance des carbonates facilement solubles, la somme obtenue pour les cations apparaît très nettement supérieure à la capacité d'échange.

Bien que nettement moins riches en phosphore que les précédents, ces sols en renferment encore des teneurs appréciables et bien davantage, semble-t-il, sur les atolls que sur les îlots coralliens de la périphérie des îles hautes : 10 ‰ de phosphore total pour les premiers, moins de 2 ‰ dans les seconds, et partout moins de 1/10^e sous une forme assimilable.

On pourrait s'attendre à ce que les sols situés à proximité immédiate du lagon, soumis aux embruns, soient enrichis en sodium, or il n'en est rien ; les teneurs y avoisinent le plus souvent 0,2 mé/100 g. La nappe d'eau douce n'y apporte pas non plus de sel mais favorise la formation d'un encroûtement calcaire au niveau de la frange capillaire qui la surmonte (TRICHET, 1969). Les croûtes calcaires sont courantes dans les sols de ce type. Elles ont été fréquemment décrites sur les atolls : Rangiroa (TERCINIER, 1956), Takapoto (LATHAM, 1976), ainsi que sur des terrasses calcaires littorales récentes (QUANTIN, 1976).

5.5. Sols et végétation sur substrat calcaire massif et karstique à recouvrement sableux

Le terme de « *feo* » recouvre une morphologie karstique typique avec des pitons ou des murailles aux bords et arêtes acérés, allant de 2 à 8 m de hauteur (BOURROUILH-LE JAN, 1984). Dans le langage courant, les *feo*, résultat de la dissolution des dalles cimentées (TRICHET, 1969), constituent seulement les pointements visibles d'un ancien récif érodé enfoui sous des sédi-

ments sableux ou sablo-graveleux peu épais. A Tikehau ils apparaissent sur le *motu* Tuherahera ; ils y constituent la zone la plus haute de l'atoll.

LA VÉGÉTATION

Un petit nombre d'espèces parviennent à se maintenir dans ce milieu. Parmi les arbres, *Pandanus tectorius* et *Thespesia populnea* sont les plus fréquents et parmi les arbustes, *Pipterus argenteus* et *Euphorbia atoto*. Les herbacées sont dominées par *Lepturus repens*, *Triumfetta procumbens*, *Asplenium nidus* et *Nephrolepis bisserrata*. Le cocotier, *Cocos nucifera*, a aussi été implanté dans ce secteur, là où les placages de sols sont les plus importants.

LES SOLS

Morphologie

Le sol est discontinu entre les *feo* ; sa profondeur est limitée par le soubassement récifal rocheux, moins cependant à l'endroit de poches de dissolution, partiellement comblées de graviers ou rocaillies coralliens. Les profondeurs observées peuvent ne pas dépasser une trentaine de centimètres et n'excèdent pas 60 à 80 cm. Le profil Tik24 a été observé sur le *motu* Tuherahera à Tikehau :

0-20 cm : brun (10YR3/1) ; très humifère (34 %) ; argilo-sableux ; structure grenue fine à moyenne ; nombreuses racines.

20-35 cm : sable légèrement coloré par la matière organique (5 %) ; structure grenue fine et particulière ; racines.

35-60 cm : sable blanc grisâtre ; moins de 2 % de matière organique.

à 60 cm : roche calcaire dure.

Ces sols sont des *rendzines très humifères*.

Propriétés :

Le matériau sableux (corallien, coquillier et à *Hali-medea*) peut, de par la pédogénèse, s'enrichir, jusqu'à 30 %, d'une importante fraction « argileuse » (calcaire actif), particulièrement au sein de l'horizon A11. Les sols sont bruns en surface et faiblement alcalins (pH = 7,5), bien que très riches en une matière organique mal humifiée (20 à 35 % de m.o. ; C/N = 14 à 19). Ils sont riches aussi en tous les nutriments : calcium échangeable bien sûr, mais aussi potassium (0,7 à 1,2 mé/100 g en A11) et magnésium (9 mé/100 g) libéré par les foraminifères et les débris d'algues calcaires, riches en cet élément (TRICHET, 1969) ; sodium également avec des teneurs pouvant atteindre 3 mé/100 g, ces sols étant avec les sols hydromorphes organiques les plus riches en cet élément ; phosphore enfin dont les teneurs vont de 6 à 17 ‰ (et 0,5 à 0,8 ‰ sous une forme assimilable). La capacité

d'échange cationique, importante (27 à 50 mé/100 g), est totalement saturée. Le déficit hydrique est plus important ici qu'ailleurs. La présence de la roche compacte à faible profondeur favorise un assèchement rapide du sol et limite la pénétration des racines.

5.6. Sols et végétation des dépressions marécageuses

Les petites dépressions sont assez fréquentes sur les îlots coralliens les plus étendus, particulièrement en arrière des dunes bordant le lagon. La nappe, proche de la surface, y favorise l'installation d'une végétation adaptée aux stations marécageuses. Il en résulte une accumulation de matière organique pouvant conduire à des sols tourbeux. A une faible profondeur il s'est formé une croûte calcaire très dure.

a. Sols hydromorphes à anmoor calcique

Fréquent dans les dépressions marécageuses, ce type de sol couvre une superficie importante, d'une quinzaine d'hectares, sur le motu Tuherahera au sud de l'atoll de Tikehau.

Le marécage est colonisé par une *Cypéracée* de 2 à 3 m, *Cladium jamaicense*. D'autres espèces telles *Mariscus pennatus* et *Eleocharis geniculata* vivent sur sa bordure.

Dans ce milieu très humide où l'influence de la nappe, peu profonde, se fait sentir jusqu'à la surface, il s'est constitué un important horizon humifère et à faible profondeur une croûte calcaire très dure.

Une coupe du sol montre successivement :

— un horizon humifère A11 (0-15 cm), brun, pâteux, gorgé d'eau, neutre (pH = 7,2). La matière organique, abondante, bien humifiée (m.o. = 30 % - C/N = 13) est bien liée aux fractions minérales fines, non moins abondantes (36 % d'« argile »). La forte capacité d'échange (70 mé/100 g) est saturée à 95 %, par du calcium et du magnésium (dans la proportion de 6 pour 1) dont il faut ici encore, souligner la teneur élevée (9 mé/100 g) ; par du sodium en quantité relativement élevée (3 mé/100 g) et très peu de potassium (0,4 mé/100 g).

— un horizon A12 (15-30 cm), sableux, grisâtre, peu humifère ; il repose sur :

— une croûte calcaire scoriacée, très dure, de 30 cm d'épaisseur. Elle a été datée de 3 000 ans environ (2930 ± 70 ans). La nappe apparaît juste au-dessous en saison sèche.

Après aménagement de plates-bandes surélevées, ces sols sont favorables à la culture du taro d'eau.

b. Sols tourbeux, eutrophes

Déjà décrits à Tubuai (TERCINIER, 1962), à Mururoa (TRICHET, 1966), ces sols sont moins fréquents ; à Bora-Bora (*motu* Taurere) ils recouvrent cependant une dizaine d'hectares.

Sous une végétation de *Cypéracées*, en un milieu toujours saturé d'eau et mal aéré, se sont accumulées d'importantes quantités de débris organiques sur une épaisseur de 30 à 60 cm.

Cette épaisse couche brune à brun rougeâtre, est très faiblement acide (pH = 6,8). Elle renferme 86 % de matière organique mal humifiée (C/N = 17). Sa forte capacité d'échange cationique (150 mé/100 g) est saturée à 82 % par du calcium (100 mé/100 g) et du magnésium (20 mé/100 g). Elle repose sur le sable corallien gorgé d'eau, au niveau duquel affleure la nappe.

Une croûte calcaire très dure apparaît en bordure du marécage entre 20 et 70 cm. Elle n'a pas été décelée en son sein à moins de 1 m.

c. Sols hydromorphes anthropiques des « fosses de culture »

Les sols des « fosses de culture » (voir chapitre 6) sont aussi des sols hydromorphes organiques créés par l'homme pour la culture du taro. L'apport d'importantes quantités de déchets végétaux a conduit à la formation, en milieu plus ou moins anaérobie, d'un important horizon très humifère. A Tikehau, où son épaisseur atteint 25 cm, il renferme 25 % de matière organique mal humifiée (C/N = 18), à odeur d'acide sulfhydrique. Son pH est neutre (7,2), sa capacité d'échange élevée (43 mé/100 g). Elle est totalement saturée, par du calcium pour l'essentiel et aussi 4,6 mé/100 g de magnésium, 0,5 mé/100 g de potassium et 1,1 mé/100 g de sodium.

Ces sols anthropiques sont aussi très bien pourvus en phosphore total (19 ‰) dont 150 p.p.m. seulement se retrouvent sous une forme assimilable.

d. Les mares à kopara

Bien qu'il ne s'agisse pas, à proprement parler, de sols nous incluerons dans ce chapitre les petites mares peu profondes apparaissant sur certains *motu*. Elles sont colonisées par une flore particulière : des *Cyanophycées* (algues bleues).

Ces formations apparaissent comme spécifiques de la surface des îlots coralliens. Il s'agit de dépressions lacustres du point de vue géomorphologique, contenant des eaux douces à saumâtres (salinité comprise entre 1 et 40 ‰). Elles sont remplies de dépôts organiques et carbonatés dont l'épaisseur atteint plusieurs dizaines de centimètres et auxquels les habitants des Tuamotu donnent le nom de *kopara*.

La source de la matière organique est constituée de *Cyanophycées*, essentiellement filamenteuses (DÉFARGE, 1983), qui constituent à la surface du sédiment une couche verdâtre de quelques millimètres d'épaisseur. Dès la mort de ces organismes, la matière organique est l'objet de dégradations microbiennes sous l'influence des bactéries photosulfureuses, sulfato-réductrices et méthanogènes (DÉFARGE, 1983). L'abondance des pigments caroténoïdiques dans les bactéries photosulfureuses confère au sédiment une couleur rouge, orange ou rose.

L'une des propriétés remarquables de ces dépôts est

d'être le siège de la précipitation de carbonates de calcium (calcites magnésiennes). Celle-ci résulte du déplacement des équilibres existants entre les espèces carbonatées (qui proviennent de l'oxydation de la matière organique et des carbonates dissous au dépens des calcaires récifaux) et les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . Cette précipitation intervient souvent au sein de lamines sub-parallèles et confère au sédiment un caractère stromatolithique (TRICHET, 1967).

Des études en microscopie électronique ont montré que cette précipitation se développait au sein d'une trame organique résultant du réarrangement des fibres polypeptidiques et polysaccharidiques des enveloppes cellulaires des cyanobactéries et des bactéries ayant contribué aux sédiments de la mare (DÉFARGE, 1983 ; DÉFARGE et TRICHET, 1984).

Du point de vue biochimique et géochimique, ces dépôts constituent des accumulations de matières organiques d'origine non ligneuse, peu évoluées du point de vue diagénétique, riches en composés humiques (70 % du carbone organique total ; DÉFARGE, 1983) et riches en azote (C/N = 8 ; DISNARD et TRICHET, 1981).

De par leur origine microbienne et leur structure stromatolithique, ces dépôts constituent un cas remarquable de microbialites actuels, c'est-à-dire de dépôts organo-sédimentaires qui se sont développés, soit par accréation de grains détritiques, soit à la suite de précipitations minérales authigènes en leur sein-même (BURNE et MOORE, 1987). Ils sont semblables en bien des points aux autres microbialites actuels — Shark Bay en Australie occidentale, Laguna Mormona en Basse-Californie au Mexique, Solar Lake en Israël — (COHEN *et al.*, 1984) mais s'en distinguent par leur caractère non marin, non évaporitique et la nature purement carbonatée des phases minérales qu'ils contiennent. Cette dernière propriété résulte, pour l'essentiel, du fait que les paragenèses minérales récifales sont elles-mêmes essentiellement carbonatées.

6. CULTURES, MISE EN VALEUR DES SOLS CORALLIENS

6.1. Les « fosses de culture »

Les conditions sont peu favorables au développement d'une véritable agriculture sur les atolls ou autres îlots coralliens. Les sols sont légèrement alcalins, sableux ou graveleux, très pauvres en certains éléments, l'eau y manque parfois, les cyclones peuvent tout dévaster.

On y trouve cependant une petite agriculture traditionnelle : cultures du taro, du bananier, de l'arbre à pain, du papayer, de quelques pieds d'agrumes, à même le sable, sans méthode particulière. Des cultures de

légumes sont effectuées (à Rangiroa) sur des bourres de cocos ou des demi-noix recouvertes de sable. Cette méthode permet (problème crucial) de conserver une humidité suffisante.

Les anciens avaient résolu le problème de l'alimentation en eau des plantes hydrophiles (taro) en décapant le sol jusqu'à la nappe phréatique. Des fosses allongées (« fosses de culture » ou « fosses à taros ») étaient ainsi creusées dans le sable corallien à l'aide d'outils en nacre, sur une profondeur courante de 1 à 2 m, jusqu'au-dessous du niveau de la nappe d'eau douce. Les fosses de l'atoll de Tikehau dateraient de 1888 et auraient été exploitées jusqu'en 1902, le village comptant alors aux dires des anciens, 1500 habitants. Les végétaux étaient entassés au fond de ces fosses où ils constituaient un humus artificiel. Il était ainsi possible d'obtenir trois récoltes de taros tous les deux ans à raison d'un pied par m^2 (J. CHAZINE, 1980). Ces fosses de culture avaient atteint une grande extension sur certains atolls dont Takapoto où J. CHAZINE a relevé une surface aménagée de 1800 ares dont 360 à 450 ares de surface utile. Le creusement de ces fosses a nécessité l'enlèvement de 270 000 m^3 de débris coralliens.

Les cyclones de 1903-1904, en comblant partiellement les fosses, et le développement de la cocoteraie ont eu raison de ces méthodes culturales.

6.2 Le cocotier, arbre providentiel

De nos jours en effet la quasi-totalité des îlots émergés est recouverte par la cocoteraie.

L'occupation des atolls par l'homme date d'une époque très reculée. « Des tout premiers occupants de l'Archipel (des Tuamotu) on ne sait pas grand chose » dit F. RAVAUULT (1980). Mais vers l'an 1000 sont venus des envahisseurs Maoris en provenance des autres archipels de la Polynésie. Ils vivaient de cueillette ou du ramassage de rares fruits ou racines mais surtout du milieu marin.

Les cocotiers sont à cette époque peu nombreux. C'est un arbre providentiel bien adapté aux sols sableux alcalins, s'accommodant même de l'eau saumâtre. Il n'a été introduit à grande échelle, sous l'impulsion conjuguée des missionnaires, commerçants et administrateurs français, qu'à partir du début du XIX^e siècle. Mais c'est surtout la mise au point du séchage de la noix de coco (vers 1870) qui, permettant l'exportation du coprah, a favorisé le développement des plantations (F. RAVAUULT, 1980). L'extension de la cocoteraie s'est poursuivie jusqu'en 1930. Elle est à l'origine de la disparition de tout le système de subsistance reposant sur l'exploitation des ressources terrestres et en particulier des « fosses de culture ».

La cocoteraie occupe 40 000 ha sur les atolls des Tuamotu. La production de coprah atteignait environ

25 000 tonnes au début des années 60. Elle a chuté à 16 000 tonnes en 1967. Les causes de cette régression sont multiples : baisse des rendements, chute des cours mondiaux, pénurie de main-d'œuvre provoquée par l'installation du Centre d'Expérimentation Nucléaire (G. BLANCHET, 1985). Dans les années 70, la production ne dépasse plus 8 500 tonnes, mais remonte à un peu plus de 10 000 tonnes en 1982 (la moitié de la production totale de la Polynésie) avant la chute brutale de 1983 (6 000 tonnes) provoquée par les cyclones qui ont détruit une grande partie de la cocoteraie.

Le rendement moyen est très faible : 200 à 250 kg de coprah par hectare. A cela il y a plusieurs causes énumérées par J.L. REBOUL (1980) ; médiocre fertilité des sols, valeur génétique douteuse et vieillesse des plants (dont 80 % ont plus de 50 ans), densité de plantation trop forte, pratiques culturales inexistantes ou néfastes (brûlis des déchets végétaux), récoltes effectuées à des fréquences trop faibles, enfin insectes ou autres parasites et rats.

La nécessité de la régénération de la cocoteraie est apparue il y a une trentaine d'années déjà. Des parcelles d'expérimentation ont été implantées en 1959 à Rangiroa aux Tuamotu par l'I.R.H.O. (1). Suite au départ de cet Institut en 1973, la relève a été assurée par le Service de l'Economie Rurale en 1976, puis par le GERDAT en 1978.

Les conclusions des travaux réalisés pendant ces nombreuses années ont été tirées par J.L. REBOUL (1980) : « Le bon développement d'une cocoteraie sur atoll suppose que soient appliqués simultanément des oligo-éléments (sulfate de Fe et de Mn) une fois tous les trois ans et des engrais azotés (ammonitrate) et potassiques (KCl) annuellement. » Les rendements croissent alors jusqu'à 1,6 tonnes/ha.

Des couvertures de légumineuses, adaptées au sol corallien et à système racinaire leur permettant de puiser l'eau de la nappe, ont aussi été testées. Trois ont été sélectionnées : *Vigna marina* sur les sols où la nappe est inférieure à 1 m, *Canavalia maritima*, la plus vigoureuse mais grimpante, *Canavalia sericea* bien adaptée aux sols caillouteux. Après une dizaine d'années, la plante seule peut suppléer l'apport d'engrais minéraux, oligo-éléments exceptés.

Un bon entretien de la cocoteraie (tous les 3 mois) est aussi extrêmement bénéfique : rabattage périodique de la végétation naturelle et andainage, entre les rangées de cocotiers, de tous les débris végétaux sauf les bourres qui seront brûlées. Bien appliquée, cette méthode accroît le rendement de coprah de 9 à 16 kg par arbre et par an.

Mais la sélection du matériel végétal constitue l'une des phases primordiales de la régénération de la cocoteraie : les plants sélectionnés conduisent à des rendements pouvant dépasser 2,5 tonnes/ha (et même 3 tonnes/ha pour certains hybrides), sans engrais mais avec oligo-éléments, (J.L. REBOUL, 1980).

6.3. Les cultures de pastèques et de melons sur les motu des îles hautes

Comme sur les atolls, le cocotier est ici aussi partout présent. Mais, favorisée par la proximité de l'île haute volcanique et le faible éloignement du marché de Papeete, une agriculture tout à fait originale a fait son apparition il y a une trentaine d'années déjà : la culture des pastèques, des melons et des poivrons sur de la terre rapportée de l'île volcanique (MILLAUD et LAMBERT, 1971).

Le principe en est simple : après la destruction de la quasi-totalité de la végétation y compris des cocotiers, et la mise en place de brise-vent si nécessaire, un puits est creusé au point le plus bas de la parcelle jusqu'à la nappe, toujours présente et jamais profonde (1 à 3 m). Il fournira l'eau douce nécessaire aux fréquents arrosages. Un réseau dense de trous (1000 à 4000 selon la culture), de volume variable (3×3×3 à 4×4×4 dm) est alors creusé dans le sol corallien. Chacun des trous est ensuite rempli de terre végétale, prélevée dans l'île haute voisine et rapportée en sacs et par bateau. Un système d'irrigation est mis en place : fûts de 200 l régulièrement répartis sur la parcelle, reliés par des tuyaux souples à un réseau de canalisations principales aboutissant à une pompe installée aux abords du puits. Les fûts sont ainsi remplis selon les besoins, jouant le rôle de fontaines où l'eau est puisée à l'aide d'arrosoirs. Une fumure de fond est apportée 3 jours avant que ne soient semées les graines de pastèques ou de melons, tandis qu'une fertilisation périodique garantira le bon développement des plantes. Des traitements phytosanitaires sont également pratiqués tout au long du cycle végétatif de même que, si nécessaire, des désherbages manuels ou chimiques. L'arrosage quant à lui est, sauf en cas de pluie, journalier à raison de 4 l/jour et par trou (REBOUL, 1980).

Ce type de culture est très développé surtout à Maupiti et Huahine. Dans cette île, une centaine d'hectares y sont aujourd'hui consacrés. La production atteint en moyenne 15 tonnes/ha/an pour les pastèques, la première année. Très vite les rendements chutent : de 20 % à 30 % dès la deuxième année, de 50 % à la quatrième. Les exploitants doivent, pour y remédier, procéder au

(1) I.R.H.O. : Institut de Recherche sur les Huiles et Oléagineux.

renouvellement de la terre, partiellement chaque année, en totalité tous les 4 ou 5 ans.

Ce type de culture soulève donc un double problème : travail astreignant et onéreux lié au remplacement de la terre et impact sur l'écologie de l'île haute si l'on songe que plus de 30 000 tonnes de bonne terre ont été prélevées à Huahine, soit une ablation de 30 cm sur plus de 10 hectares. Et le problème est encore plus grave à Maupiti où la superficie des sols utilisables de l'île volcanique ne dépasse pas quelques dizaines d'hectares. Il est impensable que ces prélèvements puissent se perpétuer indéfiniment à un tel rythme, il faut donc essayer de prolonger les qualités de la terre rapportée sur le récif corallien.

La chute de la fertilité enregistrée dès la deuxième année peut être due à deux causes apparaissant successivement ou simultanément : dégradation des caractéristiques physiques ou (et) chimiques, prolifération anormale des parasites dans la microfaune, favorisée par la monoculture.

Concernant le premier point, une étude récente (R. JAMET, 1984), a mis en évidence : une dégradation partielle mais très rapide de la structure du sol, un ralentissement de sa perméabilité, aggravé par l'apparition d'une pellicule de battance due aux trop fréquents arrosages ; chacun de ceux-ci correspond à une brève averse de plus de 20 mm.

Sur le plan chimique, malgré le large contact avec le substrat corallien, la terre d'apport n'est, cinq ans plus tard, que fort peu enrichie en calcaire ; cependant les ions Ca^{++} solubilisés par les eaux pluviales et d'arrosage doublent (30 mé/100 g). La teneur en ions Na^+ demeure stable à environ 0,5 mé/100 g, preuve de la non-salinité de la nappe et de la faible influence des embruns.

Mais ces terres sont sur-fertilisées, les engrais y sont apportés en quantités exédentaires. De ce fait, la colonne d'eau de plus de 2 m qui percole au travers de la terre à chaque cycle cultural d'environ 3 mois (et environ 5 m par an) en emporte une grande partie, tout particulièrement les engrais azotés très mobiles, et d'autant plus vite qu'ils sont apportés en solution. Mais il apparaît, malgré l'intensité du lessivage et très rapidement, un excès de phosphore et de potasse. Avec 600 g d'engrais apportés par trou et par cycle cultural, le seuil au-delà duquel le gain en rendement devient nul est dépassé (loi de Mitscherlich). Cela a été vérifié à Huahine par le GERDAT. Une réduction, un meilleur dosage de la fumure minérale, l'introduction de matière organique (compost), la rotation des cultures avec introduction d'une sole graminéenne, permettraient très certainement de ralentir, sinon de prévenir, la dégradation de la terre d'apport et ainsi d'en assurer la longévité.



PHOTO 1. — Rangiroa : cultures en plates-bandes limitées par des troncs de cocotiers. Afin de préserver l'humidité une couche de demi-noix ou de bourre de coco broyée est enfouie sous une couche de sable corallien



PHOTO 2. — Hao : portion de la couronne récifale. De droite à gauche : océan, platier, couronne récifale, lagon. Au premier plan un *motu* recouvert par la cocoteraie ; au second plan la couronne récifale est partiellement immergée



PHOTO 3. — Huahine : pastèques en cours de germination. Les trous ont été creusés dans un matériau corallien très grossier puis remplis de terre d'apport d'origine volcanique

6.4 Problème de pollution

Emmagasinée dans un terrain très perméable, proche de la surface, l'eau douce de la lentille des îlots coralliens peut être très facilement polluée : pollution bactériologique par les fosses septiques près des villages, pollution par les insecticides, les pesticides ou les engrais dans les secteurs cultivés. La migration latérale ne se produit que lentement de même que l'élimination par les points de résurgence.

Les caractéristiques chimiques de base d'eaux de la

nappe phréatique ont été obtenues par R. GROS (1980) en zone sans culture (voir tabl. IV).

Des dosages de nitrates ont aussi été effectués dans les eaux de six puits répartis dans une zone de culture des pastèques ; les teneurs oscillent entre 0,30 et près de 5 mg/litre d'azote. Par rapport aux zones sans culture, l'accroissement de ces éléments est important et la très lente migration latérale des eaux de drainage peut expliquer les différentes valeurs obtenues. Il faut noter l'absence de pesticides dans ces eaux.

TABLEAU IV
Analyses d'eaux douces en zones sans culture (R. GROS, 1980)

	pH	Sodium mg/l	calcium mg/l	Magnésium mg/l	Potassium mg/l	Fer mg/l	Chlorures mg/l	Silice mg/l	Nitrates mg/l	Phosphates mg/l
Bora-Bora	7,9	47	110	15	-	0,02	69	0,56	0,01	0,03
Maupiti	8,2	38	70	17	2,6	0,05	64	0,06	0,005	0,06

CONCLUSION

Polynésie, Micronésie, îles Marshall, Tuvalu, Kiribati... autant de noms évocateurs des atolls du Pacifique où sont regroupées la majeure partie des îles coralliennes du globe, minuscules Etats parfois, comme Kiribati avec ses 16 atolls, ses 250 km² de terre ferme et moins de 50 000 habitants ou Tuvalu plus petit encore.

Toutes ces îles basses sédimentaires, d'origine organogène, ont en commun une couverture pédologique calco-alcaline d'une grande pauvreté en certains nutriments (mais parfois très riche en phosphore) et donc des possibilités culturales très limitées.

Le principal élément de la fertilité naturelle des rendzines est la matière organique. Dans son maintien, voire son accroissement dans le sol, réside la clé de la fertilisation au moindre coût ; mais lorsque cela est possible il faut lui associer des engrais minéraux et des oligo-éléments judicieusement dosés (Zn, Cu, Bo, et surtout Fe et Mn pour le cocotier).

Des techniques de compostage de divers résidus végétaux et plus particulièrement des palmes de cocotiers ont été testées (P. MOREL-CHEVILLET, 1980). Elles paraissent pleines de promesses et la matière première ne fait pas défaut. L'apport de quantités importantes de matière organique, non seulement améliore le complexe d'échange, mais assure une baisse du pH qui atténue l'immobilisation du peu de fer présent dans le sol (à l'origine de la chlorose) et favorise la solubilisation et donc l'assimilabilité du phosphore.

Un autre problème d'importance est celui de l'eau. La rétention par le sol est faible, l'évaporation est importante, un déficit hydrique existe sur les atolls durant la majeure partie de l'année. Mais l'eau douce existe dans le sous-sol, à faible profondeur, en quantité suffisante, voire importante dans les îlots les plus étendus. Seuls les plus petits risquent d'avoir une nappe saumâtre et leurs sols des problèmes de salinité. Lorsque la lentille d'eau douce est proche de la surface, tout au plus à quelques décimètres, les plantes cultivées peuvent s'y alimenter directement (c'est le principe utilisé dans les « fosses de culture »). Mais lorsque ce n'est pas le cas (elle apparaît parfois à plus de 3 m), l'irrigation localisée, associée de préférence à un mulching, devient nécessaire ; pour les cultures légumières en particulier elle se fait à partir de puits (Service de l'Economie Rurale, 1980).

La flore est à l'image du sol, pourrait-on dire, tout particulièrement pour les atolls polynésiens : la flore de la zone corallienne intertropicale indo-pacifique ne compte que 200 espèces environ ; en Polynésie elle est réduite à une centaine d'espèces seulement (M. GUÉRIN, 1980). Le cocotier est de loin l'espèce dominante. C'est l'« arbre-roi » non seulement des atolls mais de l'ensemble des « terres » calcaires d'origine corallienne. Les cocotiers sont cultivés de préférence sur les rendzines sableuses. Mais quel que soit le sol, cet arbre nécessite un bon approvisionnement en eau à partir de la nappe. Pour cela celle-ci doit se trouver entre 0,50 et 1,50 m de profondeur, et ce n'est le cas, en moyenne,

que pour le tiers de la surface des *motu*, (POMIER, *communication écrite* : rapport de conférence, 1980).

Les agriculteurs des *motu* ceinturant certaines des îles hautes de la Polynésie (archipel de la Société), ont résolu de façon originale le problème de leur mise en valeur. Ils y importent de la terre d'origine volcanique, pour y pratiquer des cultures intensives très lucratives comme les melons et les pastèques (écoulement assuré sur le marché de Papeete). Cette méthode a été étendue à certains atolls des Tuamotu tels Rangiroa et Tikehau à 300 km de Tahiti. Depuis quelque temps, plus de 100 m³ de terre de cette île y sont acheminés chaque année, mais à quel prix ? Rendue à Tikehau, la terre revient à plus de 10 francs CFP le kilo (soit 0,55 F). Destinée aux cultures légumières ou fruitières, elle est, après 5 ou 6 ans, abandonnée aux cocotiers.

A l'heure où les autorités responsables de ces Territoires ou Etats cherchent, pour éviter le déséquilibre social et économique, à désenclaver les cités et à inciter les gens à retourner dans leurs îles d'origine, la Commission du Pacifique Sud (C.P.S.) s'intéresse de très près aux problèmes relatifs à la culture sur les atolls. En 1977, un premier séminaire destiné à promouvoir l'agriculture de ces îles déshéritées s'était tenu aux îles Gilbert (M. LAMBERT, 1978). Un autre a suivi, à Tahiti en 1980, qui avait regroupé huit Pays et Territoires, puis d'autres... Il est possible de diversifier et de développer les cultures pratiquées sur les îlots coralliens, ont conclu les experts (C.P.S., 1980) mais dans des limites assez étroites cependant, il faut le souligner.

Afin de favoriser au maximum l'auto-suffisance alimentaire, la Commission du Pacifique Sud a recommandé un large développement de cultures déjà existantes, tout particulièrement de l'arbre à pain et des plantes à racines et à tubercules. Mais, quoi qu'il en soit, l'activité principale des atolls restera la culture du cocotier, car la production de coprah, la seule commercialisable, est à la base de leur économie.

De ce point de vue, indépendamment de la régénération, en cours, de la cocoteraie, plusieurs problèmes se posent en Polynésie et sans doute ailleurs : problèmes fonciers liés à l'indivision et problèmes de la récolte (30 à 40 % des noix n'étant pas récoltées : F. RAVAU, 1980). Or la sélection des plants, associée à l'amélioration des techniques culturales va sans doute conduire, à court terme, à un net accroissement des rendements.

Par ailleurs le coprah *actuellement* acheté par le Territoire à un prix très au-dessus des cours mondiaux, favorise le développement de la cocoteraie et contribue à freiner l'exode rural (F. RAVAU, 1980). Mais qu'en sera-t-il *dans l'avenir* ? Comme le souligne ce même auteur « le maintien d'une population dans les Tuamotu passe par une diversification (heureusement entamée) des activités, par une réforme foncière et par la renaissance d'une véritable agriculture », agriculture adaptée, bien sûr, au milieu si particulier des atolls, avec peut-être une réactivation des « fosses de culture. »

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 14 avril 1988.

BIBLIOGRAPHIE

- BAILLARD (J.P.), 1981. — Origine géologique et description d'un atoll. *Bulletin du Pacifique Sud*, 1^{er} trim. : 7-13.
- BELAYOUNI (H.) et TRICHET (J.), 1983. — Preliminary data on the origin and diagenesis of the organic matter in the phosphate basin of Gafsa (Tunisia). *Advances in Organic Geochemistry 1981* : 328-335.
- BLANCHET (G.), 1985. — L'économie de la Polynésie française de 1960 à 1980. Un aperçu de son évolution. *Trav. et Doc. de l'ORSTOM*, n° 195, Paris, 166 p.
- BOURROUILH, LE JAN (F.G.), 1984. — Introduction géologique et sédimentologique de Tikehau (A. des Tuamotu). Rapport interne EPHE - Muséum - 10 p. *multigr.*
- BURNE (R.) et MOORE (L.), 1987. — Microbialites : organo-sedimentary deposits of benthic microbial communities. *Palaios*, v. 2 : 241-254.
- CHAZINE (J.M.), 1980. — Tentative Reconstruction of Traditional Agricultural Activities on the Atolls on the Basis of Archaeological Explorations on Takapoto. Regional Technical Meeting on Atoll Cultivation, Papeete, Tahiti ; South Pacific Commission, Noumea : 149-162.
- COHEN (Y.), CASTENHOL (R.W.) et HALVERSON (H.O.), 1984. — Microbial mat : stromatolites. Allan Liss, New-York, 498 p.
- Commission du Pacifique Sud (C.P.S.), 1980. — Rapport de conférence, Conférence Technique Régionale de la culture sur les atolls, Papeete, Tahiti ; C.P.S. Noumea, 49 p.
- C.P.C.S., 1967. — Classification des sols, Lab. Pédologie-Géologie, E.N.S.A. Grignon, 87 p.
- DEFARGE (C.), 1983. — Contribution à l'étude géochimique et pétrologique des formations protostromatolitiques de Polynésie. Application à la connaissance des mécanismes de la précipitation des carbonates de calcium au sein de matières organiques sédimentaires. Thèse de 3^e cycle, Université d'Orléans, 169 p.
- DEFARGE (C.), et TRICHET (J.), 1984. — Microstructure de sédiments d'origine cyanobactérienne au sein desquels précipitent des carbonates de calcium. Application à la compréhension des mécanismes de la biominéralisation. *C.R. Acad. Sc. Paris*, T. 299, série II, n° 11 : 711-716.
- DISNAR (J.R.) et TRICHET (J.), 1981. — Etude expérimentale de la fixation de métaux par un matériau sédimentaire actuel d'origine algale. I. Isolement, purification et caractérisation de la matière organique. *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 45 : 353-362.
- FLORENCE (J.), 1985. — Introduction à la flore et à la végétation dans : Contribution à l'étude de l'atoll de Tikehau, *Notes et doc. n° 24, Océanographie*, ORSTOM, Tahiti : 74-97.
- GABBRIE (C.), MONTAGGIONI (L.), SALVAT (B.), s.date. — Etat des connaissances sur la géomorphologie des systèmes récifaux de P.F. Muséum nat. d'Hist. nat. EPHE, ANTENNE de Tahiti, 65 p.
- GROS (R.), 1980. — Problems of Environmental Pollution Associated with Agricultural Development on Atolls. Regional Technical Meeting on Atoll Cultivation, Papeete, Tahiti ; South Pacific Commission, Noumea : 238-242.
- GUÉRIN (M.), 1980. — The Flora of the Atolls of French Polynesia. Regional Technical Meeting on Atoll Cultivation, Papeete, Tahiti ; South Pacific Commission, Noumea : 77-89.
- INTES (A.), 1984. — Les écosystèmes lagunaires de P.F. Etat des connaissances (résumé par A. Intès). Centre ORSTOM de Tahiti, 28 p., *multigr.*
- JAMET (R.), 1984. — Les cultures sur motu. Etude du devenir de la terre d'apport. *Notes et doc. n° 26, Sc. de la terre*, ORSTOM, Service de l'Economie Rurale, Papeete, 24 p.
- JAMET (R.), 1985. — Les sols de l'atoll In : Contribution à l'étude de l'atoll de Tikehau, *Notes et doc. n° 24, Océanographie*, ORSTOM, Tahiti : 98-113.
- LAMBERT (M.), 1978. — La culture sur les atolls. *Bulletin du Pacifique Sud*, 3^e trim. : 6-9.
- LATHAM (M.), 1976. — L'atoll de Takapoto (Etude écologique). Programme MAB : écologie et utilisation rationnelle des écosystèmes insulaires, Papeete : 11-15.
- MEYER (X.), 1980. — The fresh Water Resources of an Atoll. Regional Technical Meeting on Atoll Cultivation, Papeete, Tahiti ; South Pacific Commission, Noumea : 41-76.
- MILLAUD (R.), LAMBERT (M.), 1971. — Watermelon Cultivation on Huahine Island, French Polynesia. *South Pacific Bulletin*, 1^{er} trim. : 37-38.
- MOREL-CHEVILLET (P.), 1980. — Composted Coconut Palm Leaves - A Possible Substrate for Crop Cultivation on Atolls. Regional Technical Meeting on Atoll Cultivation, Papeete, Tahiti ; South Pacific Commission, Noumea : 166-171.
- NEWHOUSE (J.), 1980. — Qu'est-ce qu'un atoll ? *Bulletin du Pacifique Sud*, 3^e trim. : 4-7.
- QUANTIN (P.), 1972 à 1978. — Archipel des Nouvelles Hébrides. Sols et quelques données du milieu naturel. Fascicules Vaté, Santo, Erromango, Tauna Anima. ORSTOM, Paris.
- RAVAULT (F.), 1980. — Population, Land Occupancy and Agri-Foodstuffs System in the Tuamotu Archipelago. Regional Technical Meeting on Atoll Cultivation, Papeete, Tahiti ; South Pacific Commission, Noumea : 94-98.

- REBOUL (J.L.), 1980. — Coconut Growing on Coral Soil. Regional Technical Meeting on Atoll Cultivation, Papeete, Tahiti ; South Pacific Commission, Noumea : 134-148.
- REBOUL (J.L.), 1980. — Les cultures sur motu en P.F. GERDAT-IRAT, Papeete, 45 p., *multigr.*
- SEMAH (F.), 1978. — Observations concernant les formations alluviales de l'île de Tahiti (A. de la Société). Centre ORSTOM de Papeete, 29 p. *multigr.*
- Service de l'économie rurale, 1980. — Atoll Irrigation. Regional Technical Meeting on Atoll Cultivation, Papeete, Tahiti ; South Pacific Commission, Noumea : 177-184.
- Service de la météorologie, 1983. — Résumé des observations en surface. Faaa aéroport, Tahiti, 197 p.
- TERCINIER (G.), 1956. — Contribution à l'étude des sols coralliens des atolls (les sols de Rangiroa - Tuamotu). 6^e Congr. int. de la Sc. du sol, Paris.
- TERCINIER (G.), 1969. — Note de synthèse sur les sols du motu Faucon (étude pédologique d'une portion représentative de l'atoll de Mururoa). *Cahiers du Pacifique* n° 13 : 17-45.
- TRICHET (J.), 1966. — Description de dépôts tourbeux en milieu récifal (Polynésie française). C.R. Soc. Biogéogr. : 141-146.
- TRICHET (J.), 1967. — Essai d'explication du dépôt d'aragonite sur des substrats organiques. C.R. Acad. Sc., Paris, série D : 1464-1467.
- TRICHET (J.), 1969. — Quelques aspects de la sédimentation calcaire sur les parties émergées de l'atoll de Mururoa. *Cahiers du Pacifique* n° 13 : 1-16.
- TERCINIER (G.), 1962. — Rapport de tournée pédologique aux Iles Australes (Rapa-Raivavae-Tubuai). ORSTOM, Institut Français d'Océanie, Noumea, 37 p., *multigr.*