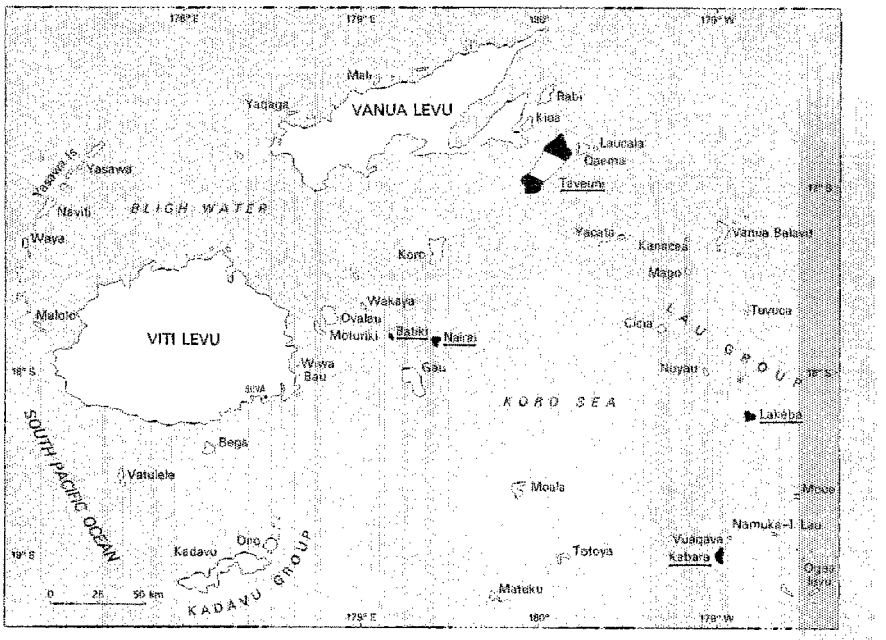
TRAVAUX ET DOCUMENTS de l'ORSTOM
N° 162

ORSTOM MaB UNESCO/UNFPA



ILES FIDJI ORIENTALES

ÉTUDE DU MILIEU NATUREL,
DE SON UTILISATION ET DE SON
ÉVOLUTION SOUS L'INFLUENCE HUMAINE

THE EASTERN ISLANDS OF FIJI

A STUDY OF THE NATURAL ENVIRONMENT, ITS USE AND MAN'S INFLUENCE ON ITS EVOLUTION

M. LATHAM - H.C. BROOKFIELD

PARIS
1983

TRAVAUX ET DOCUMENTS DE L'ORSTOM
N° 162

ORSTOM MAB *UNESCO/UNFPA*

ILES FIDJI ORIENTALES

ÉTUDE DU MILIEU NATUREL,
DE SON UTILISATION ET DE SON
ÉVOLUTION SOUS L'INFLUENCE HUMAINE

THE EASTERN ISLANDS OF FIJI

A STUDY OF THE NATURAL ENVIRONMENT, ITS USE AND MAN'S INFLUENCE ON ITS EVOLUTION

Rapport général n° 3
du projet UNESCO/FNUAP

General report n° 3
of the UNESCO/UNFPA project

« *Population and environment in the Eastern islands of FIJI* »

Coordination du texte :
M. LATHAM et H.C. BROOKFIELD

Coordination of the text :
M. LATHAM and H.C. BROOKFIELD

M. LATHAM
B. DENIS
J.P. BAYLISS-SMITH
H.C. BROOKFIELD
M. BROOKFIELD
J.R. CAMPBELL
G.C. HOPE
P.J. HUGHES
R.F. MAC LEAN

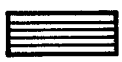
PARIS
1983

Figure 1 : Légende des toposéquences de sols
Legend of the soil's toposequences

Horizon humifère
Humiferous horizon

Horizon sablo-argileux
Sandy clay horizon

Horizon argilo-sableux
Clay sand horizon

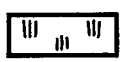


Horizon argileux
Clay horizon

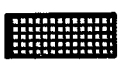
Gravillons ferro-manganésifères
Ferro-manganiferous gravels

Graviers de roche plus ou moins altérés
More or less weathered rock gravels

Pierres et roches plus ou moins altérées
More or less weathered stones and blocks



Horizon engorgé (gley ou pseudo-gley)
Poorly drained horizon (gley or pseudo-gley)



Horizon induré
Hardpan

Horizon d'altération
Weathering horizon

Couleurs au code Munsell
Colors according to the Munsell soil color charts.

© ORSTOM 1983
ISBN 2-7099-0691-0

Sommaire
Summary

Langue du texte original : A - anglais F - français
Original language of contributions : A - english F - french

Coordination effectuée par M. LATHAM avec l'aide de H.C. BROOKFIELD
The various contributions were co-ordinated by M. LATHAM with the assistance of H.C. BROOKFIELD

Préface	A	H.C. BROOKFIELD	1
Remerciements/*Acknowledgements*	F		3
Introduction :			
La contribution ORSTOM/*ORSTOM's contribution*	F		5
— Le choix des îles/*The choice of islands*	F		5
— Les méthodes de recherche/*Research methods*	F	M. LATHAM	8
I — Le milieu naturel et son utilisation sur les îles			
I - The characteristics and use of the natural environment of the islands			
A — LAKEBA			
Climatologie/*Climate*	F	M. LATHAM	13
Géologie/*Geology*	F	M. LATHAM	16
Géomorphologie terrestre/*Terrestrial geomorphology*	F	M. LATHAM	17
Géomorphologie côtière/*Coastal geomorphology*	A	R.F. MAC LEAN	23
Sols/*Soils*	F	M. LATHAM	27
Potentiel agrologique et aptitudes culturales/*Agricultural potential*	F	M. LATHAM	35
Végétation/*Vegetation*	F	M. LATHAM	47
Utilisation des terres/*Land use*	A	M. BROOKFIELD	52
B - TAVEUNI			
Géologie géomorphologie/*Geology and geomorphology*	F	B. DENIS	63
Conditions climatiques/*Climatic conditions*	F	B.DENIS	64
Sols/*Soils*	F	B. DENIS	66
Fertilité des sols et possibilités d'utilisation/*Fertility and potential*	F	B. DENIS	71
Utilisation des terres/*Land use*	A	H.C. BROOKFIELD	79
C - KABARA			
Physiographie/*Physiography*	F	M. LATHAM	83
Géologie/*Geology*	F	M. LATHAM	83
Climat et hydrologie/*Climate and hydrology*	F	M. LATHAM	85
Sols et aptitudes culturales, végétation naturelle/*Soils and suitability for cultivation, Natural vegetation*	F	M. LATHAM	85
Utilisation des terres/*Land use*	A	J. CAMPBELL	89

D - NAIRAI et/*and* BATIKI
Géologie et climatologie/*Geology and climate* F M. LATHAM 93
Sols/*Soils* F M. LATHAM 93
Potentiel agricole de ces îles/*Agricultural potential* F M. LATHAM 95
Végétation/*Vegetation* F M. LATHAM 97
Utilisation des terres/*Land use* A T.P. BAYLISS-SMITH 97

II - Dynamique des sols et de la végétation sous l'influence humaine
II - Soil and vegetation dynamics under the influence of man

E - SEDIMENTATION DANS LES ZONES MARÉCAGEUSES DE LAKEBA : CONSÉQUENCES SUR L'ÉROSION ET L'OCCUPATION HUMAINE DE L'ILE/*SEDIMENTATION IN THE SWAMPS OF LAKEBA AND ITS IMPLICATIONS FOR EROSION AND HUMAN OCCUPATION OF THE ISLAND* F M. LATHAM, P.J. HUGHES, G. HOPE, M. BROOKFIELD 103

F - PLUVIOMÉTRIE, INFILTRATION ET RUISSELLEMENT A LAKEBA
F - RAINFALL, INFILTRATION AND RUNOFF ON LAKEBA A T.P. BAYLISS-SMITH 121

G - ORIGINE DE LA FORMATION A TALASIGA
ORIGIN OF THE TALASIGA FORMATION F M. LATHAM 129

H - EVOLUTION DES CARACTÉRISTIQUES DU MILIEU APRES REFORESTATION DES ZONES A TALASIGA/*EVOLUTION OF THE ENVIRONMENT AFTER THE REAFFORESTATION OF TALASIGA AREAS* F M. LATHAM 143

I - EVOLUTION DES SOLS ET DES RENDEMENTS EN CULTURE SEMI-CONTINUE DE TARO/*EVOLUTION OF SOILS AND YIELDS UNDER THE SEMI-CONTINUOUS CULTIVATION OF TARO* 153
Evolution des sols sous culture de taro/*Evolution of soils under taro* F B. DENIS 153
Note sur les rendements de taro/*Note on taro yields* A H.C. BROOKFIELD 157

Conclusion : Ecologie et développement/*Ecology and development* F M. LATHAM 161

Annexes 167

1 - Notes biographiques concernant les auteurs/*Biographical notes on the authors* F 169

2 - Corrélation entre la légende FAO/UNESCO de classement des sols, la classification C.P.C.S. et la « Soil taxonomy »/*Correlation between the FAO/UNESCO soils classification legend, the C.P.C.S. classification and U.S. soil taxonomy* F 170

3 - Description des principaux profils de sol/*Description of the main pedological profiles used for reference* F 170

4 - Liste des plantes reconnues sur Lakeba et localisation/*List of plants identified on Lakeba and their location* F 178

Bibliographie/*Bibliography* 181

Quatre cartes couleurs en annexe
Four colour maps as an appendix

Préface

Le projet UNESCO/FNUAP est le résultat de la coopération entre l'UNESCO et le FNUAP (Fonds des Nations Unies pour les Activités en matière de Population) sur les interactions population-environnement, conformément aux dispositions du Plan d'action mondiale sur la population adopté par la Conférence mondiale des Nations Unies sur la population, qui s'est tenue à Bucarest en 1974. Au paragraphe 15 d) de ce Plan, la Conférence a spécifiquement recommandé d'« assurer une meilleure compréhension, à l'échelon national et international, des rapports complexes qui existent entre les problèmes démographiques, les ressources, l'environnement et le développement, et de favoriser une approche analytique unifiée dans l'étude de ces rapports d'interdépendance et des politiques pertinentes ».

Le projet Fidji s'inscrit dans le Programme de l'UNESCO sur l'homme et la biosphère (MAB), le gouvernement fidjien ayant plus particulièrement demandé que soient recherchés les moyens de développer la région périphérique des îles orientales au mieux des intérêts de la population et en faisant davantage appel aux ressources locales. Le projet a été mis en route en 1974, et il est vite apparu que la base de données requise pour évaluer les ressources de la région étaient insuffisante. C'est pourquoi des contacts furent établis très tôt avec l'ORSTOM, d'abord à Nouméa, puis à Paris, en vue d'une étude commune des ressources naturelles de la région des îles orientales de l'archipel, aux écologies très diversifiées. Fort heureusement, l'ORSTOM a volontiers apporté sa coopération au projet; celui-ci a aussi bénéficié de la décision judicieuse d'entrer d'abord en liaison avec le rédacteur en chef du présent volume, M. Marc LATHAM, chef de la Division de pédologie, qui se trouvait avoir la vision interdisciplinaire requise.

En effet, une approche interdisciplinaire s'imposait tout particulièrement compte tenu de la double tâche à accomplir. Il fallait déterminer non seulement la nature des ressources terrestres des îles orientales, principalement en étudiant les sols et leur potentiel, mais aussi celle des processus dynamiques qui se sont déroulés et se déroulent encore par suite de l'exploitation de ces ressources par l'homme. Cela nous a amenés à faire, outre une étude de l'état actuel des ressources terrestres et de leur utilisation, une étude approfondie des origines du paysage et de la couverture des sols actuels, qui a donné de très précieux renseignements sur l'incidence des activités humaines sur les écosystèmes fragiles en général. Tout ce travail, tant de l'état actuel que passé, est décrit dans le présent volume, qui comprend non seulement les travaux du groupe de l'ORSTOM, mais encore ceux d'autres membres participant au projet qui ont travaillé sur le terrain avec le groupe de l'ORSTOM avant de procéder en étroite collaboration avec lui, à l'analyse et à l'évaluation des résultats.

Le présent volume contient donc une partie importante sur l'ensemble des activités du projet proprement dit et une autre partie de portée véritablement internationale. Si une large place

Preface

The UNESCO/UNFPA Project was the result of co-operation between UNESCO and UNFPA (The United Nations Fund For Population Activities) on population-environment interactions, in the terms described in the World Population Plan of Action adopted by the World Population Conference at Bucharest in 1974. In paragraph 15 (d) of this document a specific recommendation was made to « advance national and international understanding of the complex relations among the problems of population, resources, environment and development, and to promote a unified analytical approach to the study of these relationships and to relevant policies ».

The Fiji project was conceived and conducted within UNESCO's Programme on Man and the Biosphere (MAB), with the specific requirement placed on the group by the Government of Fiji to establish means by which the marginalized eastern island region might be developed to the better advantage of its people, and with fuller utilization of island resources. The project began work in 1974, and it soon became apparent that the data base for an evaluation of resources in the region was deficient. At an early stage, therefore, contact was made with ORSTOM, initially in Noumea and later in Paris, with a view to collaboration in the study of natural resources in the ecologically varied eastern island region of Fiji. The project was fortunate in obtaining the ready co-operation of ORSTOM, and was also fortunate in the decision to contact first the editor of this volume, Marc LATHAM, who — as Chef de la Division de Pédologie — proved to have the wide interdisciplinary approach that a project of this nature required.

An interdisciplinary approach was particularly important because two tasks were involved. It was necessary not only to establish the nature of the terrestrial resources of the eastern islands, primarily through a study of their soils and land capability, but also to establish the nature of the dynamic processes that have taken place, and are taking place, as a consequence of man's use of these resources. This work led us not only into a contemporary study of land resources and their utilization, but also into a profound inquiry into the origins of the present landscape and soil cover, from which much of value was learned in relation to man's impact on fragile ecosystems everywhere. All this work, both contemporary and diachronic, is reported in the present volume, which collects together not only the work of the ORSTOM group, but also of those other project members who worked with the ORSTOM group in the field, and who have been closely associated with them in the subsequent analysis and evaluation of results.

This volume, therefore, reports a large section of the total work of the project, and a truly international section. Although pride of place is properly given to the work of the ORSTOM scientists, the relation of their work to that of other members of the project team is demonstrated by the inclusion of a number of sections written by these other team-members. A range of disciplines and of nationalities is included, and the result is an

est faite, comme il se doit, aux travaux des spécialistes de l'ORSTOM, le lien entre ces travaux et ceux des autres membres de l'équipe chargée du projet ressort clairement du fait que ces derniers ont rédigé certains chapitres du présent volume. L'éventail des disciplines et des nationalités étant assez large, l'ensemble intégré de conclusions présenté devrait avoir une portée bien plus vaste que le cadre limité des îles orientales de l'archipel Fidji. L'étude de l'utilisation humaine, actuelle et passée est développée, une solution au moins partielle est trouvée au vieux problème de l'origine d'un complexe flore-substrat qui n'est pas propre à la région. Une substantielle contribution est apportée à la tâche plus vaste, qui consiste à comprendre les relations entre l'homme et son environnement dynamique. Rien de tout cela n'eût été possible sans un travail collectif de scientifiques formés, grâce à leur personnalité et à leur expérience au travail interdisciplinaire et sans l'aide généreuse de l'ORSTOM, qui a fourni, outre du personnel et des services de laboratoire, un concours financier pour l'analyse finale de certaines données déterminantes, analyse réalisée par des personnes qui n'ont participé au projet qu'après l'achèvement des travaux sur le terrain.

Il m'appartient, en tant que chef de l'équipe, de souligner pour conclure que la contribution de l'ORSTOM a été déterminante pour le succès de l'ensemble du projet. Sans elle, nous n'aurions pas pu aller très loin; grâce à elle, comme ces pages devraient le montrer, nous avons progressé considérablement dans la connaissance de l'utilisation par l'homme de son environnement naturel.

Melbourne, 3 mai 1979 H.C. BROOFIELD

integrated statement of findings that should be of much wider significance than in the limited context of the eastern Fijian islands. The human-use dimension, now and in the past, is developed; a long-standing problem in the origin of a soil-vegetation complex not unique to this region is at least partly solved; an important contribution is made to the larger question of understanding man's relationship with his dynamic environment. None of this would have been possible without group work, among scientists adapted by personality and experience to interdisciplinary work and none of it would have been possible without the generous contribution of ORSTOM, which extended ultimately beyond the provision of personnel and laboratory time to financial assistance with the final analysis of critical data, by people not concerned with the project until after its field stage was completed.

As team leader, it is fitting for me to remark in conclusion that ORSTOM contribution was critical to the success of the project as a whole. Without it we could have done little; with it, as I hope these pages will demonstrate, we have achieved an important advance in the understanding of man's use of his natural environment.

Melbourne, 3rd May 1979 *H.C. BROOKFIELD*

Remerciements

Autant peut-être que les recherches sur le milieu humain, les recherches sur le milieu terrestre ont nécessité l'assistance de nombreuses personnes à Fidji et en dehors de Fidji.

Le lien organique du projet avec les autorités fidjiennes s'est fait par l'intermédiaire du Ministère des Affaires Fidjiennes et du Développement Rural. Les recherches entreprises ont toutefois bénéficié du soutien des autres Ministères et en particulier du Ministère de l'Agriculture, des Forêts et des Pêches. Ce Ministère nous a fourni l'assistance de son laboratoire pour un grand nombre d'analyses de sol, de son herbarium et de ses spécialistes en Land Survey et en particulier M. KAFOA et nous a permis d'effectuer des mesures intéressantes au « Fiji Pine Scheme » à Latauka. Le Geological Survey Department a aussi été d'un grand secours en particulier par l'intermédiaire de M.R. RICHMOND son directeur et de F. COULSON géologue.

Sur le terrain, il serait impossible de dresser une liste de tous ceux qui nous ont accueillis, guidés et conseillés. Qu'ils en soient remerciés au nom de l'ensemble de l'équipe. Leur aide a été une condition indispensable à la conduite de ces travaux.

Enfin, le projet a bénéficié d'un grand nombre de concours extérieurs à Fidji et principalement du soutien de l'ORSTOM et de son Centre de Nouméa, de la Research School of Pacific Studies de l'Australian National University à Canberra et l'Université de Melbourne. De plus, Marc LATHAM tient à remercier tout particulièrement P. QUANTIN pour avoir lu et discuté de nombreux points de ce manuscrit.

La traduction vers l'anglais ou vers le français des textes originaux a été réalisée par l'UNESCO.

Acknowledgements

Research on the terrestrial environment has probably needed as much help and support from many people in Fiji and elsewhere as that conducted on the human environment.

The project's organic link with the Fiji authorities was through the Ministry of Fijian Affairs and Rural Development but the research work was also supported by other ministries; in particular by the Ministry of Agriculture, Forests and Fisheries. The latter made its laboratory available for a large number of soil analyses, not to mention its herbarium and the services of its Land Survey specialists, especially Mr KAFOA, and enabled us to take some interesting measurements concerning the « Fiji Pine Scheme » at Latauka. The Geological Survey Department, in particular through Mr R. RICHMOND, its Director and Mr COULSON, geologist, also gave valuable assistance.

It is impossible to list all those who welcomed, guided and advised us on the islands themselves. The whole team is deeply grateful to them for, without their aid, our work could not have been carried out.

Lastly, the project received a great deal of help from outside Fiji, especially from ORSTOM and its Centre in Noumea, from the Research School of Pacific Studies of the Australian National University at Canberra and the University of Melbourne. In addition, Marc LATHAM wants to express its special thanks to P. QUANTIN for having read and discussed many points of this manuscript.

The translation into English or into French of the original texts has been realized by UNESCO.

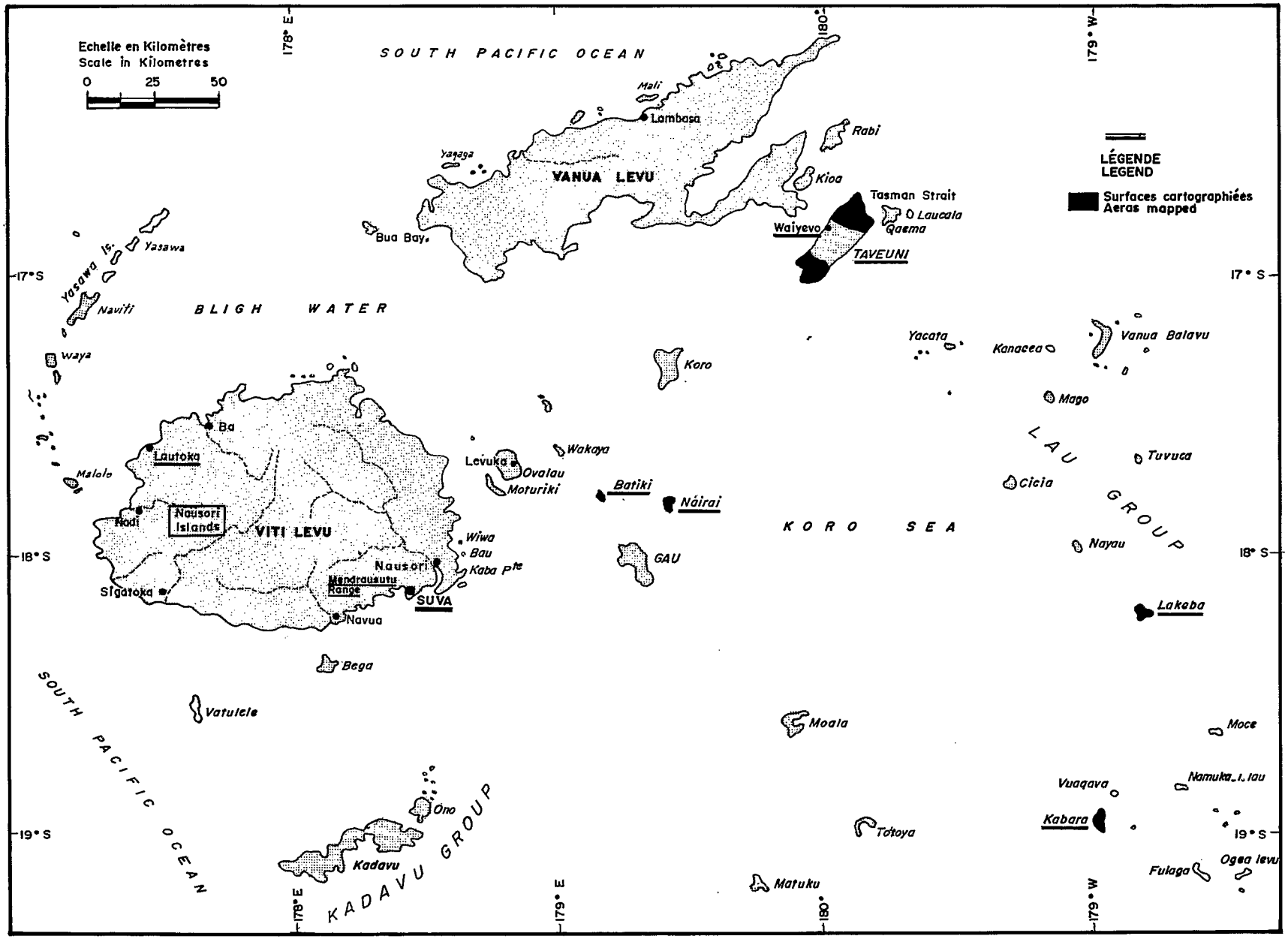


Figure 2 . Carte de localisation
Location map

Introduction

Ce rapport fait la synthèse des travaux d'écologie terrestre effectués sur les petites îles orientales de l'archipel des Fidji dans le cadre du projet UNESCO/UNFPA « Population and environment in the eastern islands of Fiji ». Certaines parties de ce texte ont déjà fait l'objet de publications partielles dans les « Islands reports » publiés sous la conduite du Professeur H.C. BROOKFIELD par l'Australian National University pour le compte de l'UNESCO et de l'UNFPA. Il fait suite aux deux précédents rapports généraux du projet :

— Population, resources and development in the eastern islands of Fiji. Information for decision making — publié en 1977 pour l'UNESCO et l'UNFPA.

— Population, resources and development in an island periphery — issues in research methodology and planning policy — à paraître en 1979 dans les notes techniques du MAB publiées par l'UNESCO.

L'objectif de ce rapport est de définir les ressources terrestres potentielles de ces milieux insulaires et leur évolution sous l'influence humaine. Pour cela deux parties ont été traitées :

— le milieu naturel et son utilisation dans les îles qui constituent une monographie des cinq îles étudiées ;

— et la dynamique des sols et de leur végétation sous l'influence humaine qui tente d'aborder les principaux problèmes d'évolution du milieu dans ces îles : érosion, sédimentation, feux, impact de reforestation, effet des cultures sur le sol.

Introduction

This report brings together the results of research carried out on the terrestrial ecology of the small eastern islands of the Fiji archipelago under the UNESCO/UNFPA Project « Population and environment in the eastern islands of Fiji ». Certain parts of the text have already appeared in the « Island Reports » published under the direction of Professor H.C. BROOKFIELD by the Australian National University on behalf of UNESCO and UNFPA. It follows the project's two preceding general reports :

— Population, resources and development in the eastern islands of Fiji. Information for decision-making; published for UNESCO and UNFPA in 1977.

— Population, resources and development in an island periphery-issues in research methodology and planning policy; to be published by UNESCO in 1980 in the MAB Technical Notes.

This report attempts to define the potential land resources of these island environments and how they have evolved under the influence of man. For this purpose it is divided into two parts :

— « The characteristics and use of the natural environment of the islands », which forms a monograph on the five islands studies;
and

— « Soil and vegetation dynamics under the influence of man», which attempts to deal with the main problems of environmental change in these islands — erosion, sedimentation, fire, the impact of reafforestation and the effects of cultivation on the soil.

I - LE CHOIX DES ILES

Parmi les critères ayant guidé le choix des îles étudiées, on peut en retenir trois principaux :

— la variété et la représentativité écologique des secteurs retenus au niveau des petites îles de l'Est des Fidji ;

— l'intérêt pour l'ensemble du projet des études sur ces îles ;

— les facilités d'accès.

La variété et la représentativité écologique

La variété et la représentativité écologique apparaissent difficiles à définir dans un secteur tant que l'ensemble du secteur n'est pas connu. Toutefois l'excellente étude des sols de l'archipel de TWYFORD et WRIGHT (1965), les documents géologiques disponibles (Geological Survey Suva) et l'expérience de H.C. BROOKFIELD nous ont grandement aidés à faire un choix.

I - THE CHOICE OF ISLANDS

The three main criteria used to select islands for study were :

— The diversity and ecological representativity of the chosen sites in relation to the small islands of East Fiji,

— The contribution that studies of these islands could make to the project as a whole,

— Accessibility.

Diversity and ecological representativity

It would seem difficult to determine diversity and ecological representativity in a particular area in ignorance of the area as a whole, but the excellent study of the archipelago's soils by TWYFORD and WRIGHT (1965), the Suva Geological Survey and the experience of H.C. BROOKFIELD were of great assistance in this task.

Les îles de l'Est des Fidji comme de nombreuses îles de par le monde (SEGALEN 1974, COLMET et LAGACHE 1965, FOSBERG 1965, QUANTIN 1975, ZEBROWSKI 1974) représentent une grande variété écologique. Cette variété est tout d'abord liée au substratum géologique, nature et âge des formations. Dans le secteur considéré on observe des roches volcaniques dont l'âge s'étale entre le Miocène et l'actuel et des calcaires. Sur ces roches s'est développé un modelé, ce modelé apparaissant plus complexe pour les îles anciennes que pour les îles jeunes. A ce modelé sont liés des sols et un couvert végétal, l'ensemble de ces caractéristiques formant l'unité écologique. Sur les cinq îles visitées on a aussi observé une grande variété de milieu (tableau 1). Cette variété apparaît de plus, assez représentative des petites îles de la région.

The eastern islands of Fiji, like many other islands in other parts of the world (SEGALEN 1974, COLMET DAAGE and LAGACHE 1965, FOSBERG 1965, QUANTIN 1975, ZEBROWSKI 1974), are extremely varied from an ecological point of view. Their diversity is due, first of all, to the geological substratum and the nature and age of the formations. In the area under consideration one finds volcanic rocks, ranging in age from the Miocene to Recent, and limestones. On these rocks there have developed a surface relief which seems to be more complex in the old than in the young islands with its concomitant soils and vegetation. Taken together, these features form the ecological unit. The five islands visited exhibited a high degree of environmental diversity (Table 1) which appeared fairly representative of the small islands in the region.

Tableau 1. — Caractéristiques écologiques des îles étudiées

Iles	Surface en km²	Géologie	Géomorphologie	Sols	Végétation
		Andésites (Miocène)	Plateaux bauxitiques	Acric ferralsols	Végétation à forbes (Talasiga)
			Pentes érodées	Humic et rhodic ferralsols	Forêt et V. à forbes
				Ferralic cambisols	V. à forbes
				Eutric cambisols	Fruticée à roseaux
LAKEBA	56		Zones colluviales	Chromic luvisols	V. à forbes
			Plaines alluviales et côtières	Eutric fluvisols	Cocoteraies et cultures vivrières
				Rendzinas	
				Gleysols et Histosols	Tarodières
		Calcaire (Pliocène)	Relief karstique	Humic ferralsols	Cultures vivrières et forêt dense
				Lithosols	Cultures vivrières et forêt dense
			Humic ferralsols	Forêt dense	
NAIRAI	28	Basalte (Pliocène)	Pentes érodées	Ferralic cambisols	V. à forbes
				Eutric cambisols	Fruticée à roseaux
			Plaine côtière	Rendzinas	Cocoteraie et cultures
			Pentes érodées	Eutric cambisols	Fruticée à roseaux
BATIKI	9	Basalte (Pliocène)	Plaines alluviales et côtières	Renzinas et fluvisols	Cocoteraie et cultures
		Calcaire (Pleistocène)	Plateaux bauxitiques	Humic ferralsols	Forêt dense
KABARA	52			Lithosols	Forêt dense
		Basalte (Pléistocène)	Pentes érodées	Eutric et chromic cambisols	Cultures
			Plaines côtières	Rendzinas	Cocoteraie
TAVEUNI	264	Basalte (Pléistocène à actuel)	Cônes, pentes et replats	Humic ferralsols	Forêt dense et cultures
				Ferralic cambisols	
				Humic andosols	
				Mollic andosols	

L'intérêt pour l'ensemble du projet

Cette étude écologique s'intégrait dans une étude d'ensemble sur la population et l'environnement. Le but de ces recherches était non seulement l'évaluation des ressources potentielles de ces îles mais de leur utilisation et de leur évolution dans le temps sous l'influence de l'homme. Il était donc important que les études à caractère humain et les recherches sur le milieu naturel soient localisées sur les mêmes sites. Une île comme Lakeba a toutefois fait l'objet d'une étude du milieu beaucoup plus poussée que Taveuni quand cela a été l'inverse en ce qui concerne le milieu humain. Ceci tient à la plus grande

Their contribution to the project as a whole

This ecological study forms an integral part of the general study on population and the environment. The aim of the research was to assess not only the potential resources of these islands but also the use made of these resources and how they have changed over time as a result of human interference. It was therefore important for the research on the natural environment to deal with the same places as the studies on the population. However, the natural environment of Lakeba, for instance, has been examined in much greater detail than that of Taveuni - although the opposite was true for the human environment -

Table 1. — Ecological characteristics of the islands studied

Island	*Area in km²*	*Geology*	*Geomorphology*	*Soils*	*Vegetation*
		Andesites	*Bauxitic plateaux*	*Acric Ferralsols*	*Forb vegetation (Talasiga)*
		(Miocene)	*Eroded slopes*	*Humic and Rhodic Ferralsols*	*Forest and forb vegetation*
				Ferralic Cambisols	*Forb vegetation*
				Eutric Cambisols	*Reed thickets*
LAKEBA	*56*		*Colluvial zones*	*Chromic Luvisols*	*Forb vegetation*
			Alluvial and		
			Coastal plains	*Eutric-Fluvisols*	*Coconut groves and food crops*
				Rendzinas	
				Gleysols and Histosols	*Taro plots*
		Limestone	*Karst scenery*	*Humic Ferralsols*	*Food crops and closed forest*
		(Pliocene)		*Lithosols*	*Food crops and closed forest*
				Humic Fluvisols	*Closed forest*
			Eroded slopes	*Ferralic Cambisols*	*Forb vegetation*
NAIRAI	*28*	*Basalt*		*Eutric Cambisols*	*Reed thickets*
		(Pliocene)	*Coastal plains*	*Rendzinas*	*Coconut groves and crops*
			Eroded slopes	*Eutric Cambisols*	*Reed thickets*
BATIKI	*9*	*Basalt*	*Alluvial and*		
		(Pliocene)	*Coastal plains*	*Rendzinas and Fluvisols*	*Coconut groves and crops*
		Limestone	*Bauxitic plateaux*	*Humic Ferralsols*	*Closed forest*
		(Pleistocene)		*Lithosols*	*Closed forest*
KABARA	*52*	*Basalt*	*Eroded slopes*	*Eutric and Chromic Cambisols*	*Crops*
		(Pleistocene)	*Coastal plains*	*Rendzinas*	*Coconut groves*
TAVEUNI	*264*	*Basalt*	*Cones, slopes*	*Humic Ferralsols*	*Closed forest and*
		(Pleistocene	*and shoulders*	*Ferralic Cambisols*	*cultivation*
		to Recent)		*Humic Andosols*	
				Mollic Andosols	

complexité du milieu naturel sur Lakeba que sur Taveuni. Nairai et Batiki ont par ailleurs fait l'objet de simples visites, les études humaines sur ces îles étant achevées ou n'ayant pas été réalisées. Ainsi les choix écologiques se sont faits en collaboration avec les choix humains.

Les facilités d'accès

Enfin le dernier élément de ce choix qui n'est pas le moindre, a porté sur les facilités d'accès. Ces îles sont d'une façon générale assez mal desservies par des bateaux et il est apparu difficile pour des missions de courtes durées de travailler sur des îles trop reculées. Lakeba et Taveuni qui sont reliées à Suva par avion présentaient le plus de facilités de communication. Ce sont aussi les îles sur lesquelles les travaux ont été les plus développés. Nairai, Batiki et Kabara ont par contre dû être visitées sur des bateaux spécialement affrétés pour cette mission et souvent après de nombreuses difficultés rencontrées par le chef de projet.

Ainsi le choix de ces îles s'est fait à la suite d'un compromis entre l'intérêt écologique, les impératifs du projet et les facilités d'accès.

simply because it is more complex. Nairai and Batiki, moreover, were merely visited, as the human studies of these islands had either been completed or not carried out. In short, the ecological environments were chosen bearing in mind those selected for study of the human population.

Accessibility

The third and not least important criterion was ease of access. Generally speaking, these islands do not have good boat services and it seemed difficult for short missions to be conducted on islands that were too remote. Lakeba and Taveuni, which have air links with Suva, were the best for communications — and also the islands on which most research had been done. On the other hand, Nairai, Batiki and Kabara had to be visited on boats specially chartered for the mission, the project director often having to iron out a great many problems beforehand.

In consequence, the choice of these particular islands reflected a compromise between their ecological importance, the requirements of the project and ease of access.

II - LES MÉTHODES DE RECHERCHE

Cette étude de l'évolution du milieu en fonction de l'influence humaine s'est faite en deux phases :

— une phase d'inventaire du milieu, ce milieu étant insuffisamment connu pour une étude de détail,

— et une phase dynamique, relative à l'évolution de ce milieu.

Elle a de plus, nécessité une phase analytique assez complexe.

L'inventaire

Ces milieux insulaires forment un ensemble varié et souvent original. L'étude de TWYFORD et WRIGHT (1965) était par trop générale et centrée sur les deux îles principales de l'archipel Viti Levu et Vanua Levu pour permettre d'apprécier dans le détail la complexité de ces écosystèmes. Une première phase de prospection, de semi détail a donc été nécessaire. Cette prospection a donné lieu à l'établissement de cartes à l'échelle du 1/25.000 sur Lakeba, la plus complexe des îles étudiées, du 1/50.000 pour Taveuni et de schemas au 1/50.000 pour Kabara, Nairai et Batiki. Cette étude a exigé la définition d'unités géomorphologiques, pédologiques, agrologiques et botaniques. Ces éléments sont en effet apparus indispensables à la connaissance du milieu et de son potentiel d'utilisation. Pour chacun d'eux se sont toutefois posés des problèmes de classification notamment en ce qui concerne les sols, l'évaluation de leurs aptitudes culturales et la végétation.

a) Classification des sols

L'utilisation pour ce travail de la légende des cartes de TWYFORD et WRIGHT est rapidement apparue difficile. Cette légende a été établie pour des cartes à l'échelle de 1/126.000 et il aurait fallu la compléter pour l'échelle à laquelle nous avons travaillé. Par ailleurs cette légende était basée sur des concepts en partie dépassés et les unités auraient mérité une nouvelle définition. Il est alors apparu intéressant d'utiliser comme base de travail la légende FAO/UNESCO (1974) maintenant bien connue de par le monde. Toutefois, afin de permettre une meilleure corrélation avec les travaux effectués par ailleurs, une correspondance a été établie avec la légende de TWYFORD et WRIGHT, la Soil Taxanomy (1976) et la classification française (C.P.C.S., 1967) (annexe n° 1).

b) Evaluation des aptitudes culturales

La définition des qualités agrologiques des terres et l'évaluation de leurs aptitudes culturales ont aussi posé des problèmes de classement. TWYFORD et WRIGHT avaient utilisé une classification des terres liée à leur zone climatique, leur topographie, leur drainage et leur fertilité. Il est toutefois apparu que pour une étude de détail, d'autres paramètres devaient être pris en compte et notamment la réserve hydrique potentielle des sols, les risques de sédimentation et les possibilités d'aménagements techniques. Un schéma a aussi été proposé pour définir ces qualités (LATHAM, DENIS 1979). Ce schéma dérive du « cadre pour l'évaluation des sols » de la FAO (1976). Il débouche sur un classement de différentes possibilités d'aménagement pour chaque catégorie de terrain, ces possibilités étant affectées d'un coefficient correspondant aux chances de succès estimées des différentes spéculations envisagées.

c) Classification des unités végétales

Après quelques observations sur le terrain il est apparu que

II - RESEARCH METHODS

This study on environmental changes as a result of human influence was carried out in two phases :

— a survey of the environment, since not enough was known about it for a detailed study,

— a dynamic phase focused on the changing face of this environment.

A further phase of rather complicated analysis was also required.

The survey

These island environments comprise a varied and in many ways unusual group. The study of Twyford and Wright (1965) was too general and too concerned with the two main islands of the archipelago, Viti Levu and Vanua Levu, for detailed appreciation of the complexity of these ecosystems. We therefore found it necessary to begin with a reconnaissance in moderate detail, which produced maps on a scale of 1/25.000 for Lakeba, the most complex of the islands studied, 1/50.000 for Taveuni and 1/50.000 sketch-maps for Kabara, Nairai and Batiki. For this study, geomorphological, pedological, agrological and botanical units had to be defined since this information seemed essential to knowledge of the environment and its potential. In each case there were problems of classification, particularly in regard to soils, the assessment of their suitability for cultivation, and vegetation.

a) Classification of soils

For this task, the legend employed in the maps of Twyford and Wright quickly proved difficult to apply. It had been designed for maps on a scale of 1/126.000 and would have needed expansion to cope with the scale with which we worked. Secondly, this legend was based on partly outdated concepts and the units would have gained from redefinition. It therefore seemed a good idea to base the work on the FAO/UNESCO (1974) legend, now well-known throughout the world. However, to facilitate correlation with the research already carried out, we worked out the corresponding categories in the Twyford and Wright classification, the Soil Taxonomy (1976) and the French classification (C.P.C.S., 1967) (Annex I).

b) Assessment of suitability for cultivation

Defining the agrological qualities of the land and assessing its suitability for cultivation raised problems of classification. Twyford and Wright had employed a land classification based on climate zone, topography, drainage and fertility but, for a detailed study, it seemed that other parameters should be taken into consideration, in particular the potential water reserves of soils, risks of sedimentation, and the possibilities of technical improvements. To define these qualities, a scheme was proposed (LATHAM, DENIS, 1979), derived from the FAO « Framework for the evaluation of soils » (1976), which resulted in a classification of alternative possibilities for the development for each category of land, with each possibility given a coefficient corresponding to estimated chances of success.

c) Classification of types of vegetation

A few on-the-spot observations brought home that the traditional distinctions made in the Fiji Islands between wet forest, coastal forest, mangrove, « talasiga » and reed thickets were

les séparations classiques faites à Fidji entre forêt humide, forêt côtière, mangrove, « talasiga » et fourré à roseaux apparaissent insuffisantes pour le type d'étude envisagé. Une redéfinition des unités était nécessaire. Il a alors semblé préférable d'utiliser le cadre de la classification internationale de la végétation (UNESCO 1973) en définissant physionomiquement et floristiquement chaque unité.

Ainsi la phase d'inventaire a permis de définir sur ces îles les unités écologiques et leur potentiel de production suivant des normes reconnues internationalement.

L'évolution du milieu

L'étude de l'évolution du milieu sous l'influence humaine a nécessité l'emploi de deux types de méthodes :

— des méthodes comparatives entre des zones soumises à une forte influence de l'homme et des zones non ou peu perturbées...

— et des méthodes sédimentologiques permettant de reconstituer l'histoire récente de l'évolution du milieu.

a) Les méthodes comparatives

Ces méthodes ont été utilisées pour évaluer l'effet des cultures ou des transformations du milieu sous l'effet des feux. Le détail des méthodes utilisées sera décrit dans les paragraphes concernés. Ce sont, soit de simples comparaisons lorsqu'une étude statistique apparaît difficile vu l'hétérogénéité du milieu, soit des études statistiques utilisant la méthode des couples. La première méthode a été préférée pour l'étude de l'infiltration et pour les comparaisons de caractéristiques pédologiques et botaniques dans l'étude des talasiga. La complexité du milieu naturel rendait en effet une étude statistique très délicate. La méthode des couples s'applique par contre bien à des secteurs cultivés ou plantés, témoin et culture pouvant se trouver plus facilement dans les mêmes conditions écologiques.

b) Les méthodes sédimentologiques

Les méthodes sédimentologiques n'ont été utilisées que tard dans le projet. Elles n'ont été rendues possibles que par la connaissance de l'extension des zones marécageuses sur Lakeba. Leur mise en œuvre a toutefois nécessité l'utilisation d'un matériel de sondage particulier (tarière sédimentologique, matériel de conservation des carottes) et d'une phase analytique complexe réalisée à l'Australian National University à Canberra. Les sédiments de ces marécages assez riches en charbon de bois et en débris végétaux nous ont permis à l'aide de datations absolues au 14C d'évaluer les phases d'évolution du couple érosion-sédimentation dans ces secteurs.

Les méthodes analytiques

Les méthodes analytiques utilisées au cours de cette étude ont fait appel à plusieurs disciplines et donnent ainsi à ce projet son véritable aspect écologique.

On a tout d'abord utilisé des méthodes analytiques classiques en pédologie, observation de profil, analyses physiques, chimiques et minéralogiques du sol au laboratoire. Ces méthodes ont été pratiquées dans les laboratoires du Ministère de l'Agriculture à Suva, du Centre ORSTOM de Nouméa et des services scientifiques centraux à Bondy (France). A ces méthodes de laboratoire ont été adjointes des méthodes de mesure sur le terrain, en particulier en ce qui concerne l'activité biologique des sols suivant la méthode exposée par BACHELIER (1968).

inadequate for the kind of study envisaged. The various vegetation units needed redefining. For this it seemed preferable to make use of the framework provided by the international classification of vegetation (UNESCO 1973) and define the physiognomic and floristic aspects of each unit.

In this way, the survey phase made it possible to define the ecological units of these islands and their production potential in accordance with internationally recognized standards.

Environmental changes

The study of environmental changes as a result of human activity called for two types of methods :

— comparative methods between areas strongly influenced by man and other areas with little or no evidence of this influence, and,

— sedimentological methods for reconstructing the recent course of environmental changes.

a) The comparative methods

These methods were used to assess the impact of cultivation or transformation of the environment through the use of fire. They are described in detail in the relevant sections but generally take the form of either straightforward comparisons in cases where the heterogeneous nature of the environment makes a statistical study difficult, or statistical studies based on pairing. The former method was preferred for the study of infiltration and for comparing the pedological and botanical characteristics of the talasigas since the complexity of the natural environment made a statistical approach very awkward. The pairing method, on the other hand, works well for cultivated areas or plantations since it is easier to find cultivated and control areas under the same ecological conditions.

b) The sedimentological methods

Sedimentological methods were not employed until a later stage in the project as this approach only became possible once the extent of the Lakeba swamps was known. Their use, however, required special boring equipment (sedimentological borer, equipment to preserve the cores) and complex analysis at the Australian National University in Canberra. The sediments found in these swamps contained quite a lot of charcoal and plant debris which made it possible, by means of absolute C14 datings, to reconstruct the evolution of the linked processes of erosion and sedimentation in these areas.

The methods of analysis

The methods of analysis used in this study called a number of disciplines into play and, in so doing, brought out the true ecological dimension of the project.

To begin with, we used the analytical methods traditionally employed in pedology — observation of the profile and physical, chemical and mineralogical analyses of the soil in laboratories belonging to the Ministry of Agriculture at Suva, the ORSTOM Centre in Noumea and the central scientific services at Bondy in France. Laboratory methods were supplemented by on-the-spot measurements, particularly of biological activity in the soil, by the method described by BACHELIER (1968).

We also made a brief study of the vegetation, based on floristic data obtained on the spot at the same time as the pedological data. This was done by building up a collection of local plants, noting local names supplied by our guides and checking

Une rapide étude de la végétation a par ailleurs été menée. Cette étude a été réalisée à la suite de relevés floristiques effectués sur le terrain en même temps que les observations pédologiques. Elle a été rendue possible grâce à la constitution d'un herbier de terrain, le relevé des noms vernaculaires fournis par les guides, leur vérification dans l'ouvrage de PARHAM (1972) « Plants of Fiji », et la détermination des échantillons incertains à l'herbarium de Suva.

Enfin l'étude des marais de Lakeba menée d'abord dans un but palynologique en vue de reconstituer l'histoire de la végétation, a par la suite été transformée en une véritable étude sédimentologique. Les travaux de laboratoire en palynologie et en sédimentologie ont été réalisés au département de préhistoire de la School of Pacific Studies de l'Australian National University à Canberra.

in Parham's « Plants of Fiji » (197'), doubtful specimens being identified at the Suva herbarium.

Lastly, our study of the Lakeba swamps, initially intended to reconstruct the palynological history of the vegetation, later developed into a true study of sedimentation. The laboratory work in palynology and sedimentology was performed by the Prehistory Department of the School of Pacific Studies of the Australian National University in Canberra.

Première partie :

LE MILIEU NATUREL ET SON UTILISATION SUR LES ILES

Part one :

THE CHARACTERISTICS AND USE OF THE NATURAL ENVIRONMENT OF THE ISLANDS

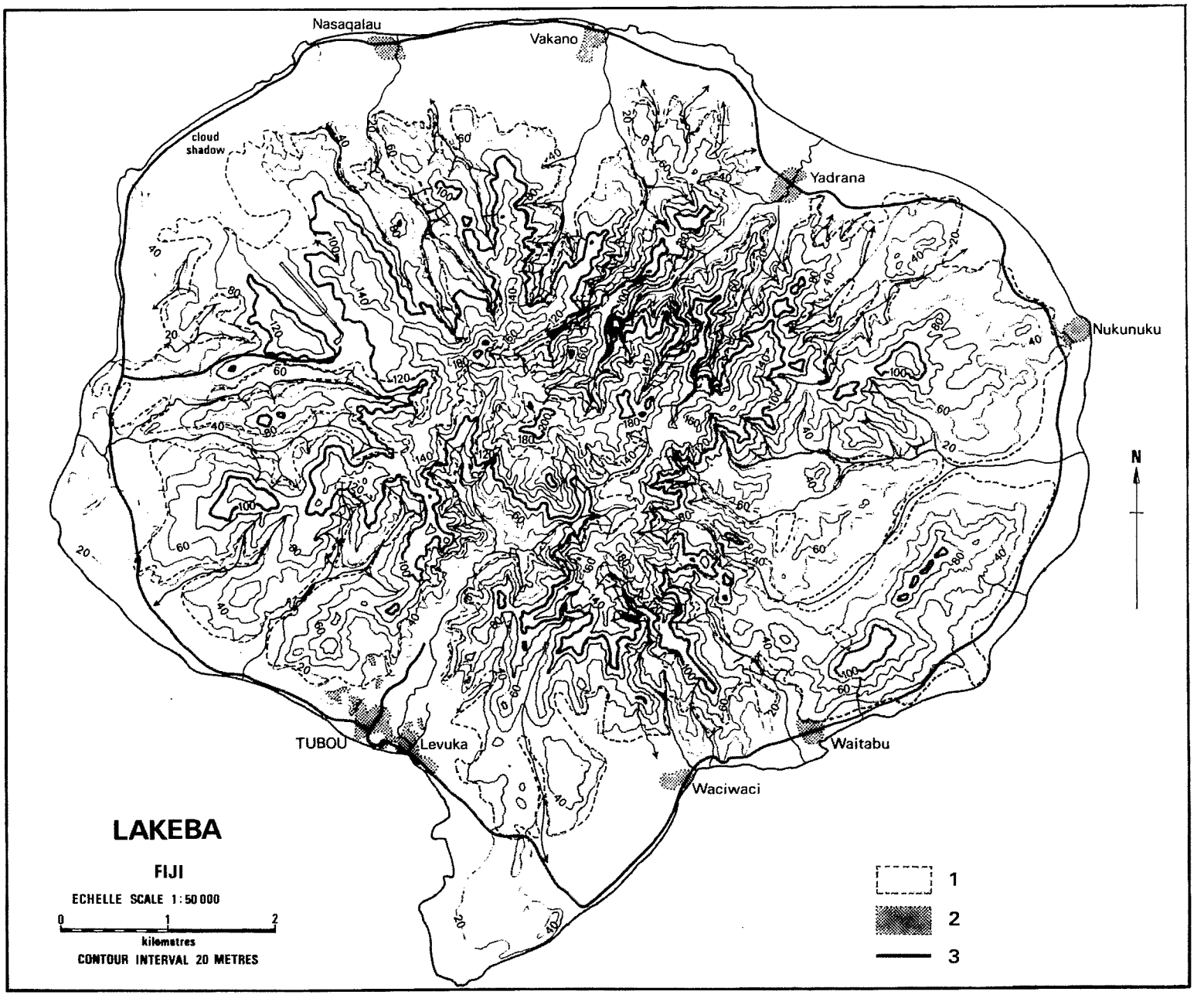


Figure 3 : Lakéba, carte générale 1 Talagisa 2 villages 3 routes, roads
Lakeba general map.

A - LAKEBA :
une île volcanique ancienne

Lakéba, comme la majorité des petites îles des Fidji, a fait l'objet d'un nombre assez limité d'études du milieu naturel.

Les visites de géologues ont été les plus nombreuses. Il faut citer principalement les travaux de GARDINER (1898), de FOYE (1915) de LADD et HOFFMEISTER (1945) et la toute récente cartographie de COULSON (1975).

Ces travaux ont porté principalement sur l'origine de cette île et sur les problèmes pétrologiques et physiographiques que l'on y rencontre.

Les études du sol et de la végétation ont, par contre, été beaucoup plus restreintes. Les travaux les plus importants à ce sujet restent l'inventaire pédologique de TWYFORD et WRIGHT (1965). Mais cet inventaire porte sur l'ensemble de l'archipel des Fidji, et Lakéba, par sa faible dimension, n'y tient qu'une place limitée. Les études botaniques se sont résumées à quelques relevés floristiques dont les premiers ont été effectués par SEEMAN et STORCK en 1860 (PARHAM 1972).

Dans les descriptions de cette île, l'accent a été porté sur la composition volcanique et calcaire d'âge Néogène du substratum, sur la profonde altération des roches volcaniques, sur la pauvreté des sols (Talasiga-soils*) et sur l'aspect très dégradé de la végétation (Talasiga-formations)*. Elle fait partie d'un ensemble d'îles volcaniques de même âge dans les Lau comprenant notamment : Mothe, Komo, Thithia et Mango.

Une prospection écologique entreprise en 1975 par B. DENIS et moi-même a permis de constater que la monotonie présumée de cet écosystème n'était que superficielle. Ce milieu est même apparu au cours de la prospection, comme relativement diversifié. Toutefois, il s'est révélé, comme l'avait déjà souligné FOSBERG (1965) dans sa description des écosystèmes insulaires comme extrêmement vulnérable à l'action de l'homme et des catastrophes naturelles.

A - LAKEBA :
an ancient volcanic island

Like most of the smaller Fiji Islands, few studies have been made of the natural environment of Lakeba.

Most visitors were geologists and the most important works are those of GARDINER (1898), FOYE (1915), LADD and HOFFMEISTER (1945), together with the very recent mapping of COULSON (1975).

This work concentrated on the island's origin and on the petrological and physiographical problems encountered.

There have been far fewer studies of soil and vegetation. The most important is still the pedological survey of TWYFORD and WRIGHT (1965), but this survey took in the whole of the Fiji archipelago and Lakeba, being a small island, was given only limited attention. The botanical studies come down to a few floristic reports, the first of which was made by SEEMAN and STOREK in 1860 (PARHAM 1972).

Descriptions of this island stressed the Neogene volcanic and limestone composition of the substratum, the deep weathering of the volcanic rocks, the poor quality of the soils (Talasiga soils) and the very degraded appearance of the vegetation (Talasiga formations). Lakeba is one of the Lau group of volcanic islands of the same age which includes, among others, Moce, Komo, Cicia and Mago.*

An ecological reconnaissance in 1975 by B. DENIS and myself revealed that this ecosystem was not as uniform as had been supposed. During our reconnaissance the environment in fact appeared quite varied but, as FOSBERG (1965) has already emphasized in his description of island ecosystems, it turned out to be extremely vulnerable to human interference and naturel disasters.

1 - CLIMAT

Lakéba appartient au point de vue climatique d'après les moyennes pluviométriques (Tableau 2), la température moyenne annuelle (25,6° C) et l'influence dominante des alizés de Sud-Est, au domaine tropical océanique.

Les relevés pluviométriques indiquent une répartition en deux saisons avec des variations inter-annuelles importantes (Tableau 3). Sur les dix années considérées dans le Tableau 2, le total pluviométrique a subi de gros écarts d'une année à l'autre. Il faut souligner en particulier les variations de l'intensité de la saison sèche et de sa place dans l'année. Si l'on considère que l'E.T.P. dans cette région doit être supérieure à 100 mm/mois, on remarque que la répartition des mois secs (en italiques dans le Tableau 3) dans l'année est assez variable. Elle présente une plus grande fréquence de mai à septembre mais peut être décalée d'une année à l'autre. On note donc une grande variabilité d'une année à l'autre dans l'intensité et dans la répartition de la pluviométrie.

* Talasiga signifierait en Fidjien « terres brûlées par le soleil » (PARHAM 1972). Ce terme désigne en fait tant une formation végétale qu'une catégorie de sol.

1 - CLIMATE

The mean rainfall (Table 2), mean annual temperature (25.6°C) and dominant influence of the south-easterly trade winds give Lakeba a tropical oceanic climate.

The recorded rainfall indicates two seasons and wide variations from year to year (Table 3). During the ten years covered by Table 3, the total rainfall shows considerable differences from one year to another. Of particular importance is the variable intensity and timing of the dry season. If we assume that the P/E in this region should be over 100 mm per month, it may be noted that the annual distribution of dry months (in italics in Table 3) is rather unpredictable. The dry periods are more frequent between May and September but can shift from one year to another. Thus both the amount and distribution of rainfall varied widely from year to year.

Two studies (BAYLISS-SMITH 1977 and M. BROOKFIELD 1977) have dealt with the extremes of climate on Lakeba (severe

* *In Fijian the term talasiga means « sun-burnt land » (PARHAM 1972) and in fact designates a type of vegetation as well as a category of soil.*

Tableau 2. — Moyennes mensuelles de pluviométrie et de température à Tubou
Table 2. — Monthly mean rainfall and maximum and minimum temperatures at Tubou

Mois/*Month*	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy. annuelle/*Annual total*
Pluviométrie/*Rainfall* (1950-1975)	274	239	296	205	120	94	77	88	103	144	183	206	2026 mm
Temp. max./*Max. temp.* (1971-1975)	29,8	30,0	30,1	29,0	28,3	27,7	26,7	25,9	27,6	28,2	28,8	29;8	28,5° C
Temp. min./*Min. temp* (1971-1975)	23,3	23,1	22,6	22,4	22,3	22,2	21,5	21,3	22,1	22,6	23,3	23,6	22,6° C

Source : Service météorologique, Suva.
Data : Meteorological Service, Suva.

Tableau 3. — Relevés pluviométriques mensuels entre les années 1966 et 1975, en mm
Table 3. — Monthly rainfall at Tubou, 1966-1975 in mm

Année/*Year*	Mois/*Month* J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total/*Annual total*
1975	367	243	311	154	*65*	*85*	137	*73*	261	123	360	181	2360
1974	274	438	263	315	258	*59*	*76*	310	139	406	132	262	2932
1973	*59*	150	161	522	*86*	*77*	113	*18*	136	*82*	259	163	1826
1972	242	270	231	179	122	*49*	131	125	101	*34*	119	202	1805
1971	250	434	331	216	187	143	*42*	129	136	276	521	369	3034
1970	280	155	206	*72*	114	179	105	*9*	105	196	153	185	1759
1969	172	190	371	133	*19*	*0,5*	*68*	*3*	142	224	*71*	*71*	1465
1968	470	114	382	*61*	104	157	*57*	*29*	*53*	*85*	183	162	1857
1967	438	168	367	164	*76*	*33*	*24*	*14*	*91*	248	*9*	*27*	1659
1966	123	104	126	201	*33*	*37*	*33*	*40*	*17*	120	*46*	168	1048

(Romain - Mois avec moins de 100 mm)
(Roman - Months with less than 100 mm)

Source : Service météorologique, Suva
Data : Meteorological Service, Suva.

Les extrêmes climatiques (grande sécheresse et cyclones) et leurs effets ont fait l'objet de deux études sur Lakéba (BAYLISS-SMITH 1977 et M. BROOKFIELD 1977). Leurs conséquences sur le milieu terrestre sont de deux ordres :

— une atteinte au couvert végétal,
— une intensification de l'érosion.

Durant les 15 dernières années, quatre sécheresses de plus de quatre mois, et souvent de très forte intensité comme en 1966 (environ 150 mm de pluie en cinq mois), ont affecté l'île. Elles auraient provoqué le tarissement de la majorité des sources et petites rivières et l'anéantissement d'une grande partie des cultures de Taro. C'est dans ces années très sèches que les feux prennent leur extension maximum et provoquent le plus fort recul de la forêt.

La fréquence des passages de dépressions cycloniques sur Lakéba est aussi très grande. Leur intensité tant au point de vue du vent que de la pluviosité est toutefois très variable (Mac LEAN 1977). Le cyclone Val qui a touché l'île en janvier-février 1975 a apporté par les vents qui l'ont accompagné de gros dommages à la végétation et principalement aux cultures et aux cocoteraies. Les fortes pluies qui accompagnent ces dépressions cycloniques provoquent une érosion accélérée de sol et des inondations dans les vallées.

Les seuls renseignements météorologiques disponibles à Lakéba, sont collectés à Tubou, au niveau de la mer sur la côte sud (fig. 4). On peut se demander si l'effet du relief et de l'orien-

drought and hurricanes) and their consequences on the terrestrial environment, which are of two types :

— damage to the vegetation,
— acceleration of erosion.

Over the last 15 years, the island has suffered four droughts lasting more than four months, often very severe, as in 1966 (about 150 mm of rain in five months). Their effect was to dry most springs and small rivers and destroy a great part of the taro crop. The most widespread fires occur in these very dry and cause serious damage to the forest.

Cyclonic depressions also pass over Lakeba quite frequently but the intensity of wind and rainfall in them is very variable (Mac LEAN 1977). Hurricane Val, which struck the island in January-February 1975, was accompanied by winds which severely damaged vegetation, especially crops and coconut plantations. The heavy rain occasioned by cyclonic depressions accelerates soil erosion and causes flooding in the valleys.

The only meteorological information available for Lakeba is collected at Tubou, at sea level on the south coast (fig. 4). One may wonder whether the effect of relief and wind direction, which seems very important on the larger islands such as Taveuni, needs to be considered for an island of Lakeba's size and height (220 m). « Fiji Air » pilots drew our attention to specific differences between the information provided by the weather station at Tubou and conditions at the airstrip located on the leeward west coast of the island. But no measurements

tation des vents, qui apparaît très important pour les grandes îles comme Taveuni, doit être pris en compte sur une île de la taille de Lakéba qui culmine à 220 m. Des différences ponctuelles ont été soulignées par les pilotes de « Fiji air » entre les renseignements fournis par le poste de Tubou et les observations au droit de l'aérodrome situé sur la côte ouest « sous le vent » de l'île. Aucune mesure n'a cependant été effectuée et il paraît difficile de savoir s'il s'agit de variations locales ou plus générales. L'étude de la végétation semble toutefois indiquer une légère augmentation de la pluviométrie en altitude. Ainsi, il est probable que les renseignements pluviométriques recueillis au poste de Tubou demanderaient à être complétés par des relevés en altitude et sur la côte nord-ouest « sous le vent » afin de donner une meilleure idée du climat de l'île.

Le climat de Lakéba apparaît donc comme un climat tropical océanique soumis à de grandes variations inter-annuelles et pouvant être affecté par des extrêmes, grandes sécheresses ou cyclones très dommageables pour le milieu naturel. Il semble toutefois relativement homogène et peu susceptible d'entraîner des différenciations majeures du milieu sur une île d'une aussi faible dimension.

have been made and it is difficult to say whether local or more general variations are involved. Examination of the vegetation, however, suggests that the high ground receives slightly more rain, and the rainfall data collected at Tubou should probably be supplemented by data from the high ground and the leeward north-west coast in order to give a clearer picture of the island's climate.

In short, Lakeba has a tropical oceanic climate subject to wide inter-annual variations and with the possibility of extremes — severe drought and cyclones — that take their toll of the natural environment. The climate, however, is fairly homogeneous and not very likely to occasion large differences in environment on such a small island.

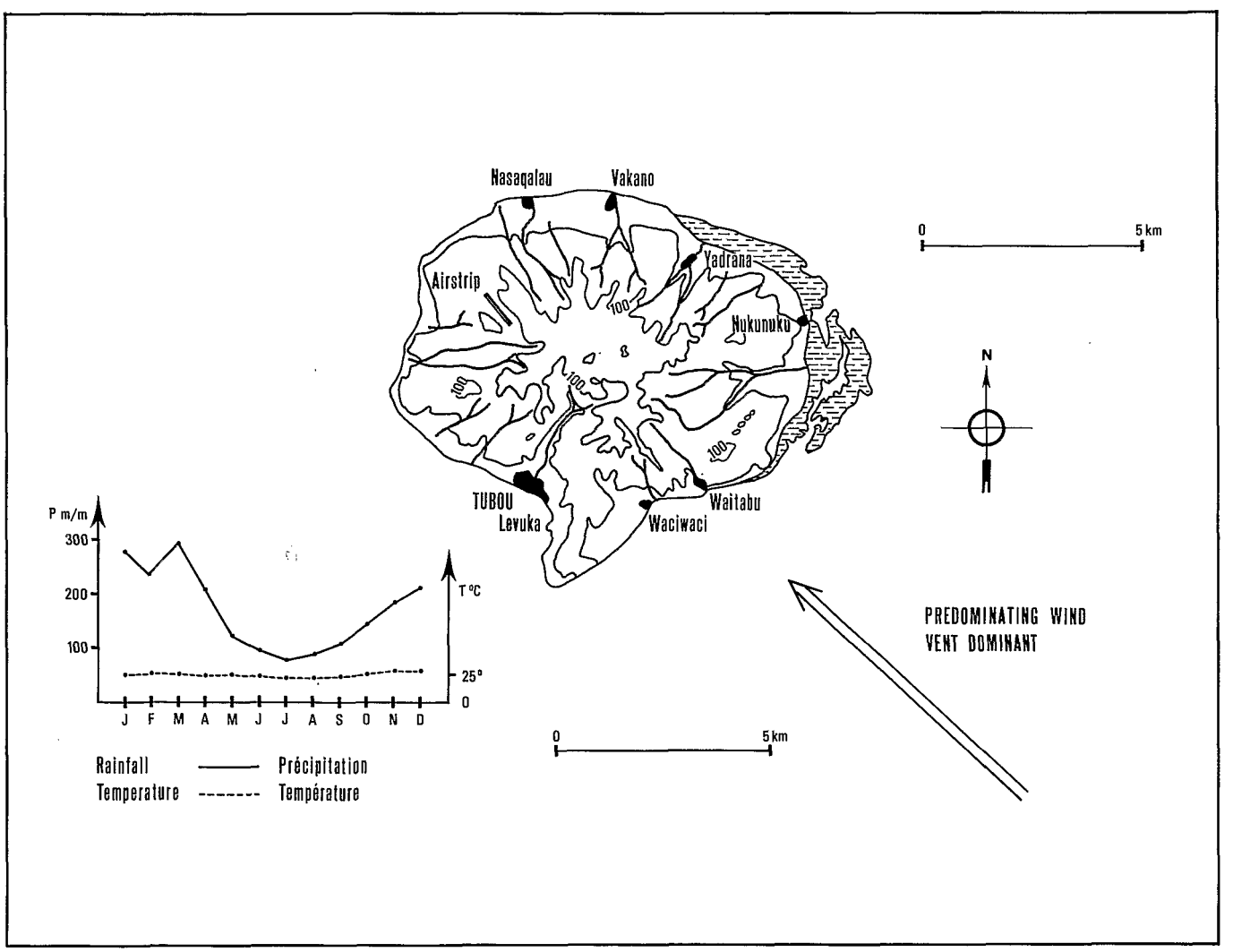


Figure 4 : Lakéba, le climat
Lakeba, climate

2 - GÉOLOGIE

Le substrat géologique de Lakéba est assez monotone. L'île est formée d'une masse volcanique andésitique, les « Lau Volcanics », recouverte dans ses bordures nord, ouest et sud par des lambeaux de calcaires, les « Futuna limestones » (LADD et HOFFMEISTER 1945).

2.1 - Le substrat lithologique

Selon COULSON (1976) les roches volcaniques sont formées d'un mélange de laves, de brèches et de lapillis de composition andésitique à dacitique. Quelques éléments de basalte ont pu être observés dans la région de Waci-Waci mais ils semblent très localisés. Les cratères de cette masse volcanique sont situés dans la haute vallée de Waitabu. Des culots isolés dominent, dans ce secteur, le paysage par des parois subverticales. Ils sont généralement formés de brèches andésitiques massives et sont peu altérés. On peut aussi observer, dans l'ensemble de l'île, la présence de dykes, individualisés dans le paysage grâce à leur résistance à l'érosion. L'âge de cette formation précédemment située au Miocène inférieur par LADD et HOFFMEISTER (1945) a été considérablement rajeuni après les datations effectuées par GILL (1976). Les « Lau volcanics » seraient datés entre 6 et 9 millions d'années, soit du Miocène supérieur.

2 - GEOLOGY

The geological substratum of Lakeba is fairly uniform. The island is made up of an andesitic volcanic mass, the « Lau volcanics », covered on the northern, western and southern fringes by the remains of a calcareous overlay of Futuna limestones (LADD and HOFFMEISTER 1945).

2.1 - The lithological substratum

According to COULSON (1975), the volcanic rocks are formed of a mixture of lava, breccia and lapillaries of andesitic-dacitic composition. Some basaltic elements were recognized in the region of Waciwaci but these seem to be restricted to a very limited area. The vents of the volcanic mass are located in the upper part of the Waitabu valley where isolated plugs with subvertical walls overlook the landscape. They are generally made up of massive andesitic breccia, little weathered. Dykes may be seen throughout the island standing out in the landscape because of their resistance to erosion. LADD and HOFFMEISTER (1945) regarded this formation as Lower Miocene in age but the more recent dating of Gill (1976) has shown it to be much younger : the « Lau volcanics » appear to be Upper Miocene, between six and nine million years old.

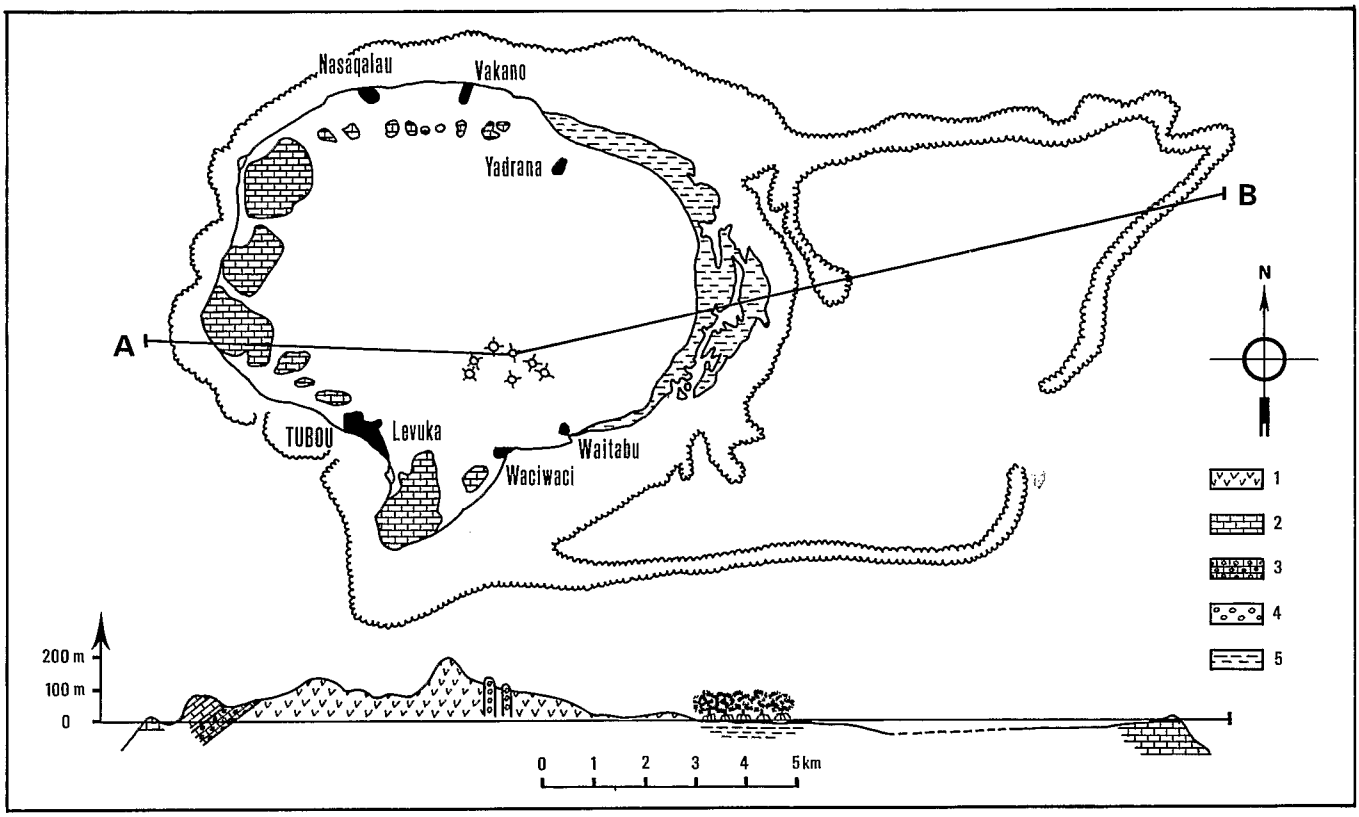


Figure 5 : Lakéba, schéma géologique (d'après COULSON 1975)
Lakeba, geological scheme (after COULSON 1975)

1 Substrat volcanique, andésite - *andesite substratum.* 2 calcaire de Futuna, faciès cristallin + récif - *Futuna limestone, crystalline facies + reef.* — 3 calcaire de Futuna, facies conglomératique - *Futuna limestone, conglomeratic facies.* — 4 dykes. — 5 sédiments - *sediments.*

Les « Futuna limestones » apparaissent sous forme de lambeaux sur la côte sud, ouest et nord-ouest. Leur épaisseur varie de quelques mètres à plus de 70 m. Ils comprennent deux faciès :

— un faciès de base conglomératique renfermant un mélange d'éléments volcaniques et calcaires,

— un faciès cristallin qui le surmonte.

De ces deux faciès, le faciès cristallin est le plus apparent dans le paysage par sa morphologie karstique. Les calcaires de base qui avaient été datés du Miocène inférieur par LADD et HOFFMEISTER (1944) auraient, toujours suivant GILL (1976), un âge compris entre le Miocène supérieur et le Pliocène inférieur.

Ainsi, malgré quelques variations lithologiques, les formations volcaniques et calcaires d'âge Néogène de Lakéba sont relativement monotones.

2.2 - L'histoire de la mise en place du substratum

Selon LADD et HOFFMEISTER (1945) la mise en place de Lakéba se serait faite en quatre temps :

— une série d'éruptions andésitiques au Néogène qui aurait amené la partie occidentale de l'île à une altitude proche de 120 m ;

— une érosion marine et terrestre qui aurait permis le dépôt d'une centaine de mètres de calcaires, les coraux ne jouant qu'un rôle mineur dans ce dépôt ;

— une surrection d'une centaine de mètres qui aurait accru la taille de l'île, amenant la partie orientale dans la zone de croissance des coraux ;

— une érosion continue qui aurait dégagé les calcaires sur la côte est.

L'hypothèse d'un éventuel basculement de l'île avec enfoncement vers l'Est, émise par FOYE (1917) pour expliquer l'absence de calcaire sur la partie orientale de l'île a été contestée par LADD et HOFFMEISTER. Ces auteurs ont émis l'idée d'un moindre développement de l'île dans ce secteur et d'une érosion marine liée aux vents dominants. Il faut remarquer que cette dissymétrie n'est pas un cas isolé dans les Lau. D'autres îles, telles Vanua - Balevu et Moce en particulier, présentent des formes de lagon analogues. Par ailleurs, on peut se demander quelle peut être l'action des vagues sur une côte lorsque celles-ci sont brisées au niveau de la barrière récifale. Les études de GILL (1976) sur la ride des Lau, sur laquelle se trouve Lakéba, indiquent une possibiltié de basculement du groupe des Lau, avec enfoncement vers l'Est, lié à la formation du bassin des Lau. Ce basculement aurait commencé au Pliocène. L'hypothèse d'un enfoncement de Lakéba vers l'Est est donc possible, elle expliquerait peut être l'envasement des vallées sur cette côte.

Lakéba apparaît donc comme une île à substrat géologique volcanique et calcaire d'âge Néogène supérieur, qui se serait mis en place à la suite d'une surrection ayant probablement débuté au Pliocène. Cette surrection aurait pu s'accompagner d'un enfoncement vers l'Est en liaison avec la formation du bassin des Lau.

3 - GÉOMORPHOLOGIE

3.1 - Géomorphologie terrestre

Sur cet ensemble géologique relativement monotone,

Remains of the Futuna limestones may be found on the south, west and north-west coasts, varying in thickness from a few metres to over 70 m. They include two facies :

— a lower, conglomeratic facies enclosing a mixture of volcanic and limestone elements,
and,

— an upper crystalline facies.

Of the two, the crystalline facies is more readily recognized in the landscape by virtue of its karstic morphology. According to GILL (1976), the basal limestones, thought by LADD and HOFFMEISTER (1945) to be Lower Miocene, were formed during a period extending from the Upper Miocene into the Lower Pliocene.

Thus, despite a few lithological variations, the volcanic and limestone formations of Lakeba date back to the Neogene and are relatively uniform.

2.2 - Formation of the substratum

LADD and HOFFMEISTER (1945) recognized four phases in the geological history of Lakeba :

— a succession of andesitic eruptions during the Neogene, which elevated the western part of the island to about 120 M;

— subsequent marine and terrestrial erosion which deposited about 100 m of limestone, with coral forming only a minor part of this accumulation;

— an uplift of approximatively 100 m, which extended the size of the island and brought the eastern part into the zone of coral growth;

— continued erosion, which denuded the limestone on the eastern side.

FOYE (1917) hypothesized a tilting of the island, downward toward the east, in order to explain the absence of limestone on the eastern side of the island. This view was contested by LADD and HOFFMEISTER, who suggested that the island was less developed here and had been subject to marine erosion brought about by the prevailing winds. It should be stated that such asymmetry is not uncommon in the Lau group : Vanua Balavu and Moce, in particular, possess lagoons similar in shape to that of Lakeba. Secondly, it is not clear what effect waves could have on a coast once they have been broken by the barrier reef. Gill's work (1976) on the Lau ridge, on which Lakeba is situated, suggests a possible tilting of the Lau group downward towards the east, related to the formation of the Lau basin. This movement would have begun during the Pliocene. It is therefore quite possible that Lakeba tilted towards the east and this might account for the silting of valleys on that side.

Lakeba then is an island with a volcanic and limestone geological substratum dating from the Upper Neogene which was established after an uplift that probably began in the Pliocene. This uplift could have been accompanied by an eastward tilt related to the formation of the Lau basin.

3 - GEOMORPHOLOGY

3.1 - Terrestrial geomorphology

On this relatively uniform geological complex, erosion has

l'érosion a permis l'individualisation d'un modelé complexe. Aucun témoin de la forme originelle du volcan ne subsiste. L'île a été entaillée de vallées sub-radiales profondes séparées par un réseau de collines aux formes arrondies. Des témoins d'importants dépôts terrestres ou marins subsistent en position de plateau, dans les vallées et sur la plaine côtière, indiquant la violence des phénomènes morphogénétiques passés. Cette évolution passée ne doit pas toutefois masquer une évolution actuelle très active.

3.1.1 - Les formations gémorphologiques

Les formations géomorphologiques de Lakéba ont été séparées, en s'inspirant des critères de TRICART (1965), en forme d'ablation, en forme d'accumulation et en forme de relief particulier.

Les formes d'ablation

Les formes d'ablation dominent sur cette île, au relief buriné par l'érosion. Elles sont représentées principalement par des collines dont les versants sont couverts de sols plus ou moins tronqués. On observe aussi des culots volcaniques et des « bad lands » dont l'extension est très limitée.

Les collines érodées constituent l'ossature du relief actuel. Elles occupent près de 55 % de la surface totale de l'île et ont des versants qui peuvent se subdiviser en deux catégories principales :

— des versants à pentes moyennes sur roches volcaniques, présentant une altération ferrallitique profonde,

— des versants à pente forte sur roches volcaniques et calcaires présentant une altération peu profonde.

Les versants à pente moyenne occupent la partie supérieure des bassins les plus encaissés et les paysages à relief ondulés. Ils sont couvert par des sols ferrallitiques, profondément altérés mais tronqués. La roche altérée à structure conservée est subaffleurante. Le façonnement de ces versants semble relativement ancien d'autant qu'ils sont incisés dans les secteurs les plus encaissés par une entaille à pente forte probablement plus récente (fig. 6).

produced tortuous landforms. No trace remains of the original form of the volcano. The island has been gouged by deep radial valleys separated from one another by a series of rounded hills. Traces of large terrestrial or marine deposits remain in the position of plateaux, in the valleys and on the coastal plain, indicative of the violence of past morphological phenomena, but these past events should not mask the very active changes now under way.

3.1.1 - The landforms

Following the criteria of Tricart (1965) the landforms of Lakeba are divided into ablation landforms, accumulation landforms and special landforms.

Landforms due to ablation

Landforms resulting from ablation dominate this island, with its relief chiselled by erosion. They are represented mainly by hills with slopes mantled by soils exhibiting varying degrees of truncation, but volcanic plugs and a small patch of « badlands » may also be observed.

Eroded hills form the backbone of the present relief. They occupy nearly 55 % of the total surface of the island and have slopes that may be divided into two main groups :

— gentle slopes, occurring on volcanic rocks, showing deep ferrallitic weathering;

— steep slopes, occurring on volcanic and calcareous rocks, with shallow weathering.

The gentle slopes are to be found on the upper parts of the narrowest drainage basins and in undulating landscapes. They are covered by ferrallitic soils, deeply weathered and truncated. The altered rock with its structure intact reaches the surface. The formation of these slopes seems relatively ancient since they are notched, in the narrowest valleys, by steep incisions probably of more recent origin (Fig. 6).

The steep slopes corresponding to this recent incision are to be found in the most dissected parts of the island and in the valley bottoms where regressive erosion has been most active. The horizons of ferrallitic weathering have mostly been

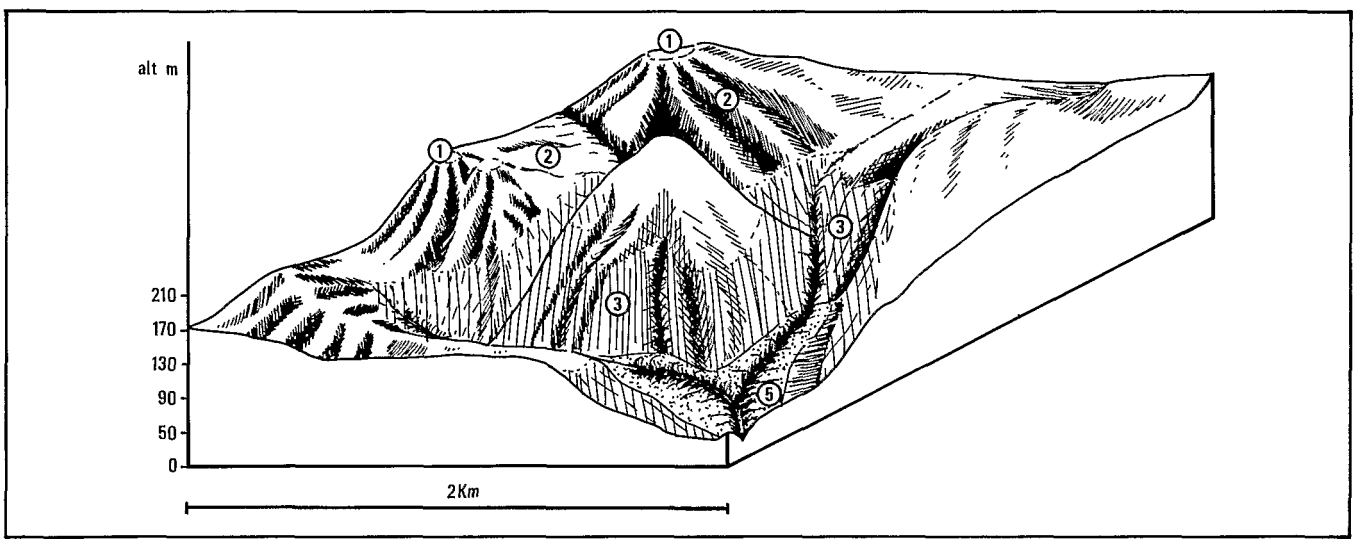


Figure 6 : Lakéba, zone à relief accidenté
Lakeba, dissected landscape

(1) Plateaux niveau I - *Plateaux level I* (2) Pentes et sommets - *slopes and summits* (3) Pentes fortes - *steep slopes* (5) Zone marécageuse - *swamp.*

Les versants à pente forte correspondent à cette entaille récente. On les observe dans les secteurs les plus accidentés de l'île, dans les fonds de vallée où l'érosion régressive apparaît la plus active. Les horizons d'altération ferrallitique ont le plus souvent été décapés. La roche saine affleure par endroit, principalement au niveau des cascades.

Ainsi, le relief de Lakéba semble avoir été incisé par deux entailles visibles majeures, correspondant probablement à deux phases d'érosion :

— une phase ancienne qui a permis l'individualisation des versants à pente moyenne,

— une phase récente qui a réentaillé le paysage de profondes incisions.

Les formes d'accumulation

Parallèlement à ces formes d'ablation, on a pu noter sur Lakéba diverses formations d'accumulation dont les plus importantes sont les plateaux, les terrasses colluvio-alluviales et les plaines alluviales et côtières.

Des plateaux dominant le relief ont pu être mis en évidence à des altitudes variant entre 50 et 220 m. Le secteur le plus élevé de l'île se trouve d'ailleurs sur l'un de ces plateaux, ce qui indiquerait que des inversions de relief se sont produites depuis leur mise en place. Deux niveaux peuvent être distingués parmi ces plateaux, l'un à la périphérie de l'île à des altitudes voisines de 50 m (niveau 1 b), l'autre à des altitudes variant entre 100 et 220 m (niveau 1 A; FIG: 6 et 7). Ces plateaux sont couverts de formations superficielles analogues : des formations bauxitiques manganésifères. La base de ces formations est parfois soulignée par des galets d'andésite moyennement altérés. A la surface du sol on peut observer des débris de meulière. Ces formations sont probablement les restes de deux glacis d'épandage dérivés de sols très profondément altérés. Peu d'éléments nous permettent de dater la mise en place de ces glacis. Ils apparaissent comme la formation géomorphologique la plus ancienne de l'île vue leur position topographique. DICKINSON (1965) dans une étude de formations analogues sur Viti Levu, avance des âges compris entre le Pliocène et le Pleistocène. Ces faits seraient confirmés par l'absence de telles formations sur des îles volcaniques plus récentes, d'âge Pliocène comme Batiki et Naïrai. Plus récemment, après la mise en place du réseau hydrographique actuel, des faciès d'apport se sont déposés dans les vallées et sur la plaine côtière.

removed and hard rock breaks the surface here and there, mainly where there are waterfalls.

Thus Lakeba's landforms appear to have been incised by two major and visible downcuts, probably reflecting two phases of erosion :

— an earlier phase that carved out the moderate slopes; and,

— a recent phase in which the landscape has again been profoundly incised.

Landforms due to accumulation

Besides the ablation landforms Lakeba displays various landforms due to accumulation, the most important being the plateaux, the colluvio-alluvial terraces and the alluvial and coastal plains.

Plateaux stand out at altitudes ranging from 50 m to 220 m. The highest part of the island is in fact situated on one of these plateaux, suggesting that inversion has taken place since their formation. Two levels may be distinguished, one at around 50 m (level Ib) on the island periphery and the other at altitudes between 100 m and 220 m (level Ia in Figs 6 and 7). All are covered by bauxitic manganiferous formations of similar form. Sometimes, their base is underlain by moderately weathered andesitic fragments, and millstone debris can be observed on the surface.

These formations are probably the remnants of two talus deposits derived from deeply weathered soils but there are few clues to indicate the date of these deposits. Their topographic position suggests that they are the oldest landforms on the island. In a study of similar formations on Viti Levu, DICKINSON (1965) has advanced dates ranging from the Pliocene into the Pleistocene and this view is supported by the absence of such formations on more recent volcanic islands dating from the Pliocene, such as Batiki and Nairi. In more recent time, since the present hydrographic system became established, eroded material has been deposited in the valleys and on the coastal plain.

A great quantity of colluvio-alluvial deposits choke the valleys, mainly in the east of the island. In some places they appear to have completely submerged the landscape (Fig. 7) and are probably very deep. They have a loamy-clayey texture and are composed of a multitude of small fragments of heavily weathered rock. The formation has been incised by erosion and

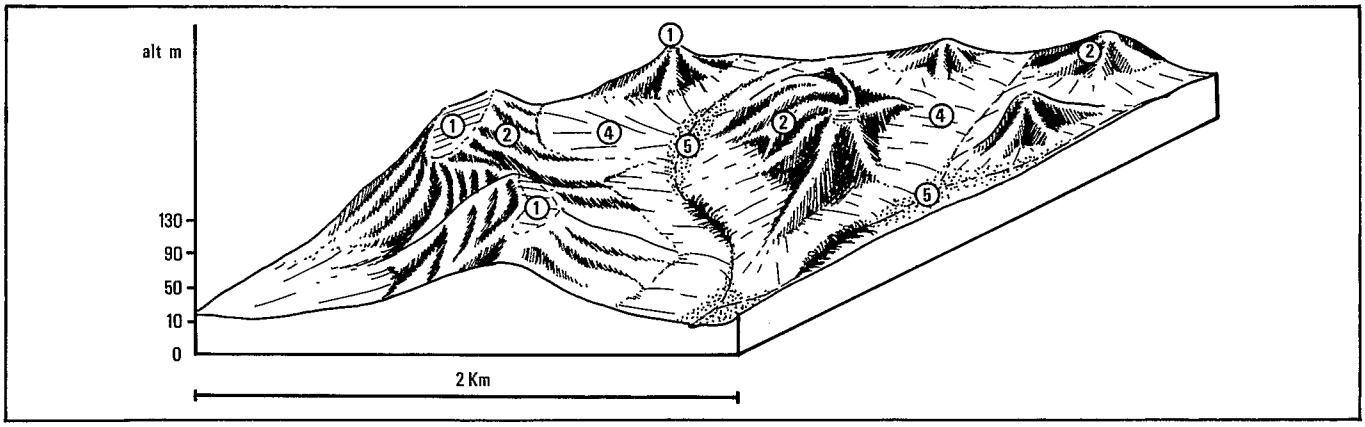


Figure 7 : Lakéba, zone à relief ondulé
Lakeba, undulated landscape.

(1) Plateaux niveau I - *plateaux level I* (2) Pentes et sommets - *slopes and summits* (4) Zone colluviale - *colluvial areas* (5) Zones marécageuses - *swamps.*

Une large formation colluvio-alluviale encombre les vallées principalement dans l'est de l'île. Dans certains secteurs elle semble avoir véritablement noyé le paysage (fig. 7). Ces colluvio-alluvions s'étendent probablement sur de grandes épaisseurs. Elles ont une texture limono-argileuse, composée de nombreux petits galets de roche très altérée. Cette formation a été incisé par l'érosion. On peut ainsi observer des pans de vallées suspendues ayant subi des décrochements importants par rapport au niveau actuel. Ces vallées suspendues peuvent dominer d'autres formations colluvio-alluviales. Leur mise en place semble donc s'être faite durant une longue période de temps dans des conditions climatiques subarides. Elle se poursuit de nos jours par un colluvionnement à partir des collines régulièrement brûlées qui les entourent. Elle est sans doute à mettre en relation avec la troncature des sols des versants à pente moyenne, probablement au cours d'un épisode sec du quaternaire moyen.

La plaine alluviale actuelle se trouve souvent emboitée dans cette formation colluvio-alluviale. Dans cette plaine, on note sur la moitié est de l'île, l'individualisation de formations marécageuses. Ces marécages s'étagent parfois le long des vallées, en série, séparés par des rapides (fig. 7). Ils sont colmatés dans l'intérieur de l'île par des sédiments minéraux et dans certains secteurs subcôtiers par des sédiments organo-minéraux. Les sédiments organo-minéraux subcôtiers reposent sur des sables datés de l'Holocène (Mac LEAN - Communication personnelle). Enfin, la plaine côtière a une largeur de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres. Elle est sableuse à l'ouest de l'île et argileuse à l'est. Elle se prolonge dans la partie est par une large zone de mangrove qui trouve son extension maximum entre Nukunuku et Waitabu.

Lakéba apparaît ainsi affecté par trois phases majeures de sédimentation : la mise en place des plateaux, l'accumulation de la formation colluvio-alluviale et le dépôt de la plaine alluviale et côtière récente.

Les formes de relief particulières

Les formes de relief qui n'ont pas encore été évoquées dans ce paragraphe sont essentiellement des formes de relief karstique qui affectent les calcaires. On peut distinguer sur les calcaires, un relief karstique général, souligné par des lapiez et entrecoupé de falaises et des formes plus originales comme des vallées aveugles ou des séries de grottes. L'extension de ce relief karstique est toutefois limité (moins de 4 % de la surface de l'île). Lakéba apparaît donc composé de formations géomorphologiques variées correspondant à une série de phases d'altération, d'érosion et de sédimentation.

3.1.2 - L'interprétation de l'histoire de la mise en place du modelé

A partir de ces données géomorphologiques un certain nombre d'hypothèses peuvent être avancées quant à l'histoire de la mise en place du modelé et aux paléoclimats. Cette reconstitution qui a été faite grâce à des critères topographiques et d'altération n'a qu'un caractère provisoire et est destinée à mieux comprendre la répartition des sols. L'âge de ces formations reste relatif, aucun élément datable n'ayant pu être mis en évidence, en particulier dans les formations les plus anciennes. Cette reconstitution nous a permis d'envisager neuf épisodes, probablement depuis l'émersion des calcaires au Pliocène.

a) Au Pliocène une longue période humide aurait permis une altération très profonde des andésites. On aurait eu formation de bauxites et élimination de la silice des sols. Cette silice a pu en partie être piégée dans les diaclases de la roche pour former

stretches of hanging valleys, considerably dislocated in relation to the present level, can be observed, some of them overlooking other colluvio-alluvial formations. They give the impression of having been formed over a long period of time in subarid climatic conditions. Today, they are still being overlain by new colluvial material derived from the regularly burned hills surrounding them but, in view of their topographic position in relation to the recent alluvial plains, their formation appears to have begun much earlier than the present period. They are doubtless to be related to truncation of the soils of the moderate slopes, probably during a dry period of the Middle Quaternary.

The present alluvial plain is often set within this colluvio-alluvial formation. In the eastern half of the island, swamps have formed in this plain, sometimes stepped in series along the valleys and separated by rapids (Fig. 7). In the interior of the island they are filled with mineral sediments and in some sub-coastal areas by organic-mineral sediments. The sub-coastal organic-mineral sediments overlie sands dating from the Holocene period (Mac LEAN, private communication). The width of the coastal plain ranges from a few to several hundred metres, it is sandy in the west and clayey in the east, where it is prolonged by a large area of mangroves which is widest between Nukunuku and Waitabu.

In short, Lakeba would seem to have undergone three major phases of sedimentation : the formation of the plateaux, the accumulation of colluvio-alluvial material and the deposits of the recent alluvial and coastal plain.

Special landforms

The landforms not discussed above are mainly the karstic formations encountered on the limestones. Here one may distinguish a general karstic relief, underlain by lapies and broken by cliffs, and more unusual formations such as blind valleys or sets of caves. This karstic relief covers less than 4 % of the surface of the island. Thus Lakeba appears to be composed of varied landforms corresponding to successive phases of weathering, erosion and sedimentation.

3.1.2 - Historical interpretation of the formation of the landscape

This geomorphological evidence makes it possible to advance a number of hypotheses to explain the history of the island landforms and the paleo-climates. This reconstruction, worked out by means of topographic and weathering criteria, is no more than tentative and intended to give a more satisfactory explanation of the distribution of the soils. The age attributed to these formations is purely relative since no datable elements have been found, particularly in the oldest formations. Our reconstruction incorporates nine stages, probably beginning in the Pliocene when the limestones emerged from the sea.

a) In the Pliocene a long humid period weathered the andesites very deeply. Bauxite would have been formed and silica leached from the soils. Part of this silica would have been trapped in rock fissures to form veins of millstone. This first deep-weathering stage probably corresponds with humid periods noted in Australia (MULCAHY and CHURCHWARD 1973) and New Caledonia (LATHAM, 1976). No remaining evidence of this initial stage is to be found in the landscape but its occurrence is essential to an explanation of the following stage.

b) Next, probably at the end of the Pliocene, a major change of climate would have brought about the formation of a large talus whose materials would have been formed from the previous bauxitic soils. Fragments of hard rock would have been deposited close to streams and the whole scree covered again with bauxitic soils. Erosion must have been deep enough to have reached the veins of millstone in places and thus lead to

des filonnets de meulière. Cette première phase d'altération correspond probablement aux périodes humides notées en Australie (MULCAHY et CHURCHWARD - 1973) et en Nouvelle-Calédonie (LATHAM - 1976). Aucun témoin de cette première phase ne subsiste actuellement dans le paysage. Sa présence apparaît toutefois nécessaire à l'explication de la phase suivante.

b) Par suite en effet, probablement à la fin du Pliocène, un changement climatique majeur aurait amené la formation d'un large glacis dont les constituants auraient été formés aux dépens des sols bauxitiques précédents. Des galets de roche saine se seraient déposés à proximité des cours d'eau, l'ensemble du glacis étant recouvert de sols bauxitiques. L'érosion a dû être suffisamment profonde pour atteindre par endroits les filonnets de meulière et provoquer ainsi une inversion de matériaux. Ce glacis est actuellement représenté par les plateaux témoins Ia.

c) Un autre niveau de glacis se serait mis en place plus tard, dans des conditions similaires, permettant la mise en place des niveaux Ib. Depuis cette période, il est probable qu'il n'y a pas eu d'épisode à climat perhumide suffisamment long pour permettre l'altération complète de la ligne de galets qui soustend certains de ces plateaux.

d) Au quaternaire ancien, l'individualisation du relief actuel se serait faite, à l'occasion de la surrection de l'île et de bas niveaux marins. Les glacis auraient été entaillés par le réseau hydrographique, et seuls auraient subsisté de ces glacis, les plateaux témoins. Cette phase d'incision s'est probablement effectuée sous un climat sec, entrecoupé par des précipitations violentes (cyclones).

an inversion of the materials. This talus deposit is today represented by the remnant plateaux Ia.

c) Another talus layer would have been formed later under similar conditions, giving rise to the Ib levels. There has probably been no subsequent perhumid period sufficiently prolonged to weather completely the layer of rock fragments underlying some of these plateaux.

d) The present-day configuration of landforms would have originated during the early Quaternary, when the island was uplifted and the sea level was low. The hydrographic system would have cut into the talus leaving only the remnant plateaux intact. This incision stage probably took place under a dry climate punctuated by violent rainfall (hurricanes).

c) This incision stage would seem to have been followed by a period of ferrallitic weathering under a humid climate and probably under forest vegetation. This weathering must have taken place during the middle Quaternary and would have occasioned deep weathering of the moderate slopes.

f) The next period must have been drier, marked by a contrasted climate which encouraged the truncation of soils. It was characterized by the silting of valleys, mainly in the eastern part of the island, which led to colluvio-alluvial formations. This asymmetry in valley silting is probably connected with the tilting of the island towards the east, a possibility discussed in section 2.2.

g) There then ensued a new period of ferrallitic weathering made possible by a short humid period, but it would not have been long or strong enough to build up the soils on the slopes.

Tableau 4. — Hypothèse sur la succession des principales phases morphogénétiques de Lakéba

Episodes	Morphogénèse	Phase climatique	Age supposé
a	Altération allitique	Perhumide	Pliocène
b	Mise en place d'un vaste glacis dont seuls restent visibles les plateaux témoins Ia	Subaride	Plio-Pleistocène
c	Baisse du niveau de base Mise en place du glacis Ib	Subaride	Plio-Pleistocène
d	Incision des vallées	Sec et contrasté	Pleistocène ancien
e	Altération ferrallitique des versants	Humide	Pleistocène moyen
f	Erosion superficielle importante des versants Accumulation des colluvio-alluvions	Sec et contrasté	Pleistocène moyen
g	Altération ferrallitique des versants et des formations colluvio-alluviales	Humide	Pleistocène supérieur
h	Incision des colluvions. Erosion régressive au niveau des têtes de Talweg	Subaride	Pleistocène supérieur
i	Mise en place de la plaine alluviale actuelle, de la plaine côtière et des zones marécageuses. Altérations bisiallitiques sur les fonds de Talweg	Constraté	Holocène à actuel

e) A cette phase d'incision aurait succédé une phase d'altération ferrallitique, sous un climat humide, probablement sous végétation forestière. Cet épisode d'altération a dû se situer au quaternaire moyen. Il aurait permis l'altération profonde des versants à pente moyenne.

f) Il a dû être suivi d'un épisode plus sec, marqué par un climat contrasté qui a permis la troncature des sols. Cet épisode a été marqué par un ensablement des vallées, principalement dans la partie orientale de l'île qui a permis la mise en place de la formation colluvio-alluviale. Cette dissymétrie dans l'ensablement des vallées est probablement liée à l'enfoncement de l'île vers l'Est comme cela a été envisagé au paragraphe 2.2.

g) Après cette période sèche, une courte période humide aurait permis de poursuivre l'altération ferrallitique. Elle n'aurait toutefois pas été assez longue et intense pour reconstituer les sols de pente.

h) Plus récemment, à la suite des bas niveaux du quaternaire récent, l'incision a repris dans les vallées, creusant chaque fois que cela a été possible dans la formation colluvio-alluviale et décapant les fonds de talweg de toute formation ferrallitique.

i) Depuis, sous un climat plus humide, mais contrasté, une altération bisiallitique a repris dans les têtes de talweg et la plaine alluviale récente s'est mise en place à la suite des hauts niveaux de la mer de l'Holocène.

Ainsi le façonnement du modelé de Lakéba se serait fait grâce à une succession d'épisodes d'altération, d'érosion et de sédimentation dont les principaux témoins sont les plateaux bauxitiques, les versants, les terrasses colluvio-alluviales anciennes et les plaines alluviales et côtières récentes.

h) More recently, as a result of the low sea levels of the recent Quaternary, the valleys were once again incised, cutting whenever possible into the colluvio-alluvial formation and stripping the thalweg bottoms of any ferrallitic cover.

i) Since then, under a more humid but contrasted climate, bisiallitic weathering has resumed at the heads of the thalwegs and the recent alluvial plain was formed as a result of the high sea levels of the Holocene.

Thus the formation of the Lakeba landforms appears to be due to successive periods of weathering, erosion and sedimentation of which the chief remnants are the bauxitic plateaux, the slopes, the older colluvio-alluvial terraces and the recent alluvial and coastal plains.

Table 4. — Suggested succession of the main morphogenetic phases in Lakeba

Episode	*Morphogenesis*	*Climate phase*	*Supposed age*
a	*Allitic weathering*	*Perhumid*	*Pliocene*
b	*Deposition of a vast talus of which only the higher plateaux remain (Ia)*	*Subarid*	*Plio-Pleistocene*
c	*Lowering of the base level and deposition of the lower talus (Ib)*	*Subarid*	*Plio-Pleistocene*
d	*Cutting of the valleys*	*Dry and contrasted climate*	*Lower Pleistocene*
e	*Ferrallitic weathering of the slopes*	*Humid*	*Mid-Pleistocene*
f	*Strong surface erosion on the slopes and colluvio-alluvial deposition*	*Dry and contrasted*	*Mid-Pleistocene*
g	*Ferrallitic weathering of the slopes and of the colluvio-alluvial deposits*	*Humid*	*Upper Pleistocene*
h	*Valley incision ; regressive erosion at valley heads*	*Subarid*	*Upper Pleistocene*
i	*Deposition of the present alluvial and coastal plains and of the swamps ; bisiallitic weathering on thalweg bottoms*	*Contrasted*	*Holocene to present*

3.2 - Géomorphologie côtière

Comme la géomorphologie terrestre, la géomorphologie côtière présente sur Lakéba une grande complexité. Celle-ci tient à la variété du milieu terrestre (sa lithologie, sa topographie et son drainage) et à la diversité du système récif-lagon qui l'entoure. D'autres facteurs influent sur la nature et le développement des héritages côtiers, comme les facteurs biologiques et particulièrement les successions végétales, les facteurs météorologiques comme les cyclones ou les tempêtes ou les conditions océanographiques comme l'action des vagues et les variations du niveau de la mer. L'homme a enfin contribué à la formation de ces milieux côtiers directement par la construction de digues ou de la jetée de Tubou ou indirectement par son action sur l'érosion des sols.

3.2.1 - Les milieux côtiers

Les éléments saillants de la morphologie côtière à Lakéba et les principales subdivisions qui ont pu être retenues (côtes à mangrove à l'Est, à barrière récifale au Nord, calcaire au Sud et à l'Ouest et sableuse au Sud) sont schématisés sur la figure 8. La figure 9 décrit l'aspect morphologique et une esquisse de stratigraphie pour chaque type côtier.

3.2 - Coastal geomorphology

Like the terrestrial geomorphology, the coastal geomorphology of Lakeba is highly complex, partly owing to the variety of its terrestrial environment (its lithology, topography and drainage) and partly owing to the diversity of its surrounding reef-lagoon system. The nature and development of the coast has also been subject to other influences, such as biological factors, particularly the succession of plants, meteorological factors such as cyclones or storms or oceanographical conditions such as wave action or variations in the sea level. Lastly, man himself has contributed to the formation of these coastal environments both directly, through the building of dykes or the Tubou jetty, and indirectly by trying to halt soil erosion.

3.2.1 - The coastal environments

Figure 8 outlines in diagrammatic form the outstanding features of Lakeba's coastal morphology and the main subdivisions encountered (mangrove coast in the east, barrier reef to the north, limestone in the south and west, and sands in the south). Figure 9 shows the morphological aspect and an outline stratigraphy for each type of coast.

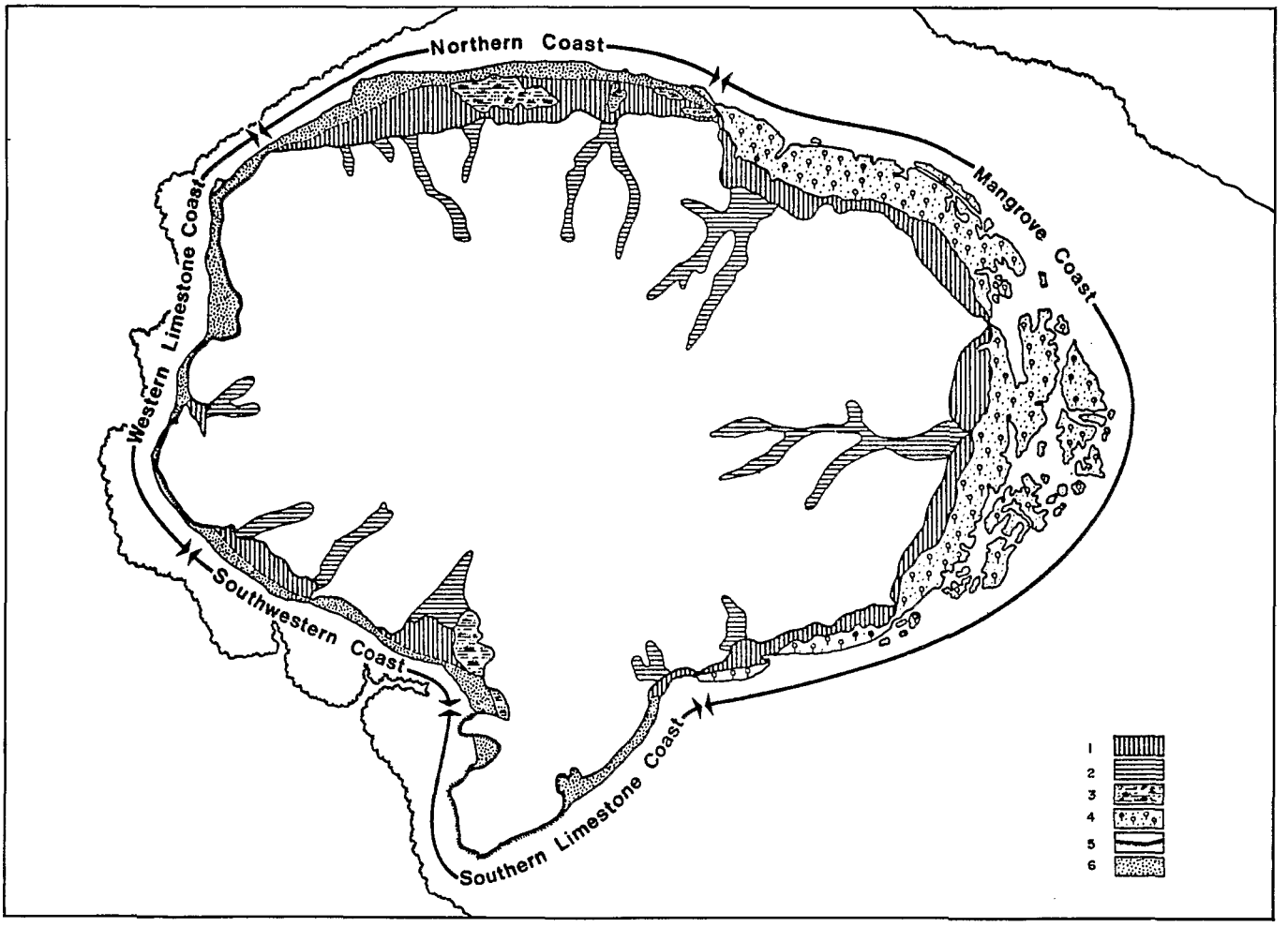


Figure 8 : Lakéba, types de côte : morphologie et stratigraphie généralisée
Coastal types of Lakeba : generalized morphology and stratigraphy.

La côte à mangrove

La côte orientale de Waci Waci à 1 km du Nord Ouest de Yandrana est dominée par une épaisse forêt de mangrove. La largeur de cette ceinture forestière peut atteindre jusqu'à 1,5 km en son centre. Dans cette forêt, seul un genre végétal a été observé le *Rizophora sp.* Vers la mer, les *Rizophora* se développent directement sur le plateau récifal, quand vers la terre ils poussent sur une épaisse couche de sédiments terrigènes. A Waitabu, un échantillon de corail, prélevé à 25 cm sous la surface, a été daté de 4470± 155 BP (G x 4607) ce qui signifie que ces sédiments sont très récents. En arrière de la mangrove s'étend sur 200 à 300 m une plaine côtière couverte de colluvio-alluvions argileuses. Des niveaux d'argile de mangrove, de tourbes ou de ponces ont été observés par endroit dans les sédiments constituant cette plaine. Ce qui indique qu'au moins une partie de son soubassement est d'origine marine. Les dépôts colluvio-alluviaux et les sédiments de la mangrove auraient donc probablement moins de 4000 ans.

La côte à barrière récifale

Au Nord entre Vakano et l'Ouest de Nasaqalau le paysage côtier change totalement. Une coupe à partir du récif permet de reconnaître : le platier récifal, un bourrelet sableux de plage, les marécages et le piedmont.

Le platier récifal peut atteindre 300 à 700 m de largeur dans ce secteur. Sa plate-forme est recouverte, par endroits, de sables plus ou moins stabilisés par une végétation algaire. Ce récif est en majeure partie constitué de coraux morts. Il faut remarquer la tendance actuelle à une colonisation par la mangrove de ce platier.

Le bourrelet sableux de plage a une largeur de 50 à 150 m. Il est composé principalement de squelettes carbonatés (foraminifères, algues calcaires et fragments de mollusques) et de débris de coraux. Les sédiments analogues à ceux du récif se sont accumulés au cours des tempêtes. Les sables de couleur brune sont très altérés de façon homogène et diffèrent très nettement des sédiments frais, ce qui suggère une mise en place ancienne. Le caractère fossile de ce bourrelet est confirmé par l'action de l'érosion marine actuelle qui tend à le réduire.

Les marais subcôtiers s'étendent en arrière de ce cordon sableux. Ils sont remplis d'une tourbe qui repose directement sur une plage de sable fossile.

Enfin au pied des collines se sont accumulées en position de piedmont des colluvio-alluvions.

La côte calcaire

Les affleurements de calcaire apparaissent dans l'Ouest de l'île et dans le Sud en deux masses principales. La morphologie côtière dans ce paysage diffère sensiblement de celle qui est observée dans le paysage volcanique en ce sens que la mangrove et les marais en sont absents. En gros cette côte calcaire est caractérisée par une série de promontoirs rocheux séparés par de petites baies ensablées.

Les promontoirs calcaires dominent directement le récif frangeant de plusieurs mètres par l'intermédiaire d'une falaise. Sur cette falaise on peut noter une encoche due aux vagues actuelles ou subactuelles et par endroits des encoches fossiles.

Entre les promontoirs rocheux, des accumulations de sable se sont déposées. La largeur de ces accumulations peut varier de quelques mètres à près de 300 m. Ces sables sont formés principalement de squelettes carbonatés dérivés du récif et accumulés par les vagues. En surface ils ont une couleur noire due à la pénétration humifère, ce qui suggère une certaine stabilité de la surface du sol. Une datation au 14 C d'un échantillon moyen de ces sables prélevé à 50 cm de la surface a donné un âge de 2045 ± 130 BP (G x 4476). Cet âge tendrait à prouver qu'une accumulation relativement faible a eu lieu au cours des 2000 dernières années.

The mangrove coast

The eastern coast, from Waciwaci to 1 km north-west of Yandrana, is dominated by a dense forest of mangroves which attains a width of 1.5 km at its centre and has been found to contain only one plant species, Rhizophera sp. *Towards the sea, the* Rhizophera *grow directly on the reef plateau whereas, on the landward side, they grow on a thick layer of terrigenous sediments. At Waitabu, a sample of coral taken from 25 cm below the surface, was dated at 4 470± 155 BP (G x 4 607), with the implication that these sediments are very recent. Behind the mangrove belt there is 200 to 300 m of coastal plain covered by clayey colluvio-alluvial deposits. In places, layers of mangrove clay, peats and pumice were found in the sediments making up this plain. This suggests that at least part of its underlay is of marine origin. The colluvio-alluvial deposits and the mangrove sediments are therefore probably less than 4 000 years old.*

The barrier-reef coast

In the north, between Vakano and west of Nasaqalau, the coastal landscape is completely different. A transection starting from the reef would show the reef flat, a sandy beach bar, swamps and then the piedmont (Fig. 9).

The reef flat can be as wide as 300 to 700 metres in this area. In places, its platform is covered with sands that have been stabilized to a varying extent by algal vegetation. This reef is composed chiefly of dead coral and the flat is at present tending to be colonized by mangroves.

The sandy beach bar varies in width from 50 to 150 m and is composed in the main of carbonated remains (Foraminifera, calcareous algal and mollusc fragments) and coral debris. Sediments similar to those on the reef have been accumulated by storms. The sands, brown in colour, have been deeply and uniformly weathered and differ sharply from the fresh sediments, a sign of ancient formation. The fossil nature of this bar is corroborated by present-day marine erosion, which is tending to reduce it.

The sub-coastal swamps lie behind this sandy belt. They are filled with peat which overlies a beach of fossil sand.

At the foot of the hills, in a piedmont situation, colluvio-alluvial deposits have accumulated.

The limestone coast

Outcrops of limestone can be seen in the west and south of the island, in two main blocks. In this landscape, the coastal morphology differs considerably from that observed in the volcanic landscape in that there are no mangroves or swamps. Roughly speaking, this limestone coast is characterized by a series of rocky promontories with small sandy bays between.

The rocky promontories directly overlook the fringe reef in the form of bluffs several metres higher than the reef. These bluffs have been notched by present-day or recent wave action and in places fossil notches are also to be seen.

Between the rocky promontories sands have accumulated, varying in width from a few metres to nearly 300 metres. These sands are chiefly composed of carbonated remains derived from the reef and built up by wave action. Their surface colour is black, a result of humiferous penetration, and indicates that the surface has achieved a certain stability. Carbon 14 dating of an average sample taken from 50 cm below the surface produced an age of 2 045 ± 130 BP (G x 4 476). This age suggests that accumulation has been relatively slow in the last 2 000 years.

The sandy coast

The fourth type of coast is located in the south-west, between the two outcrops of limestone. It is characterized by a sandy beach made up of reef debris and resembles the northern coast in that a sandy bar rises up above and just behind the present

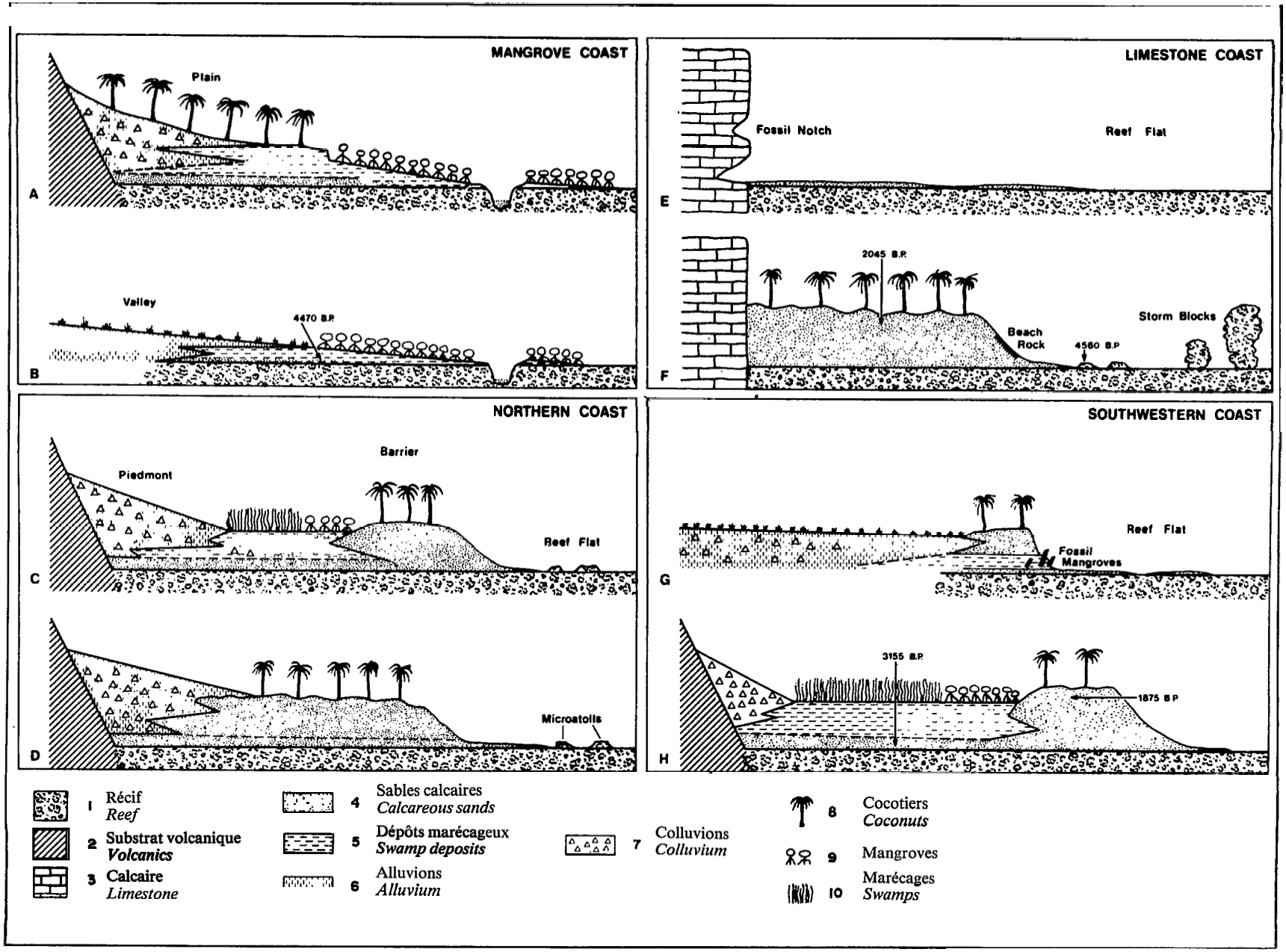


Figure 9 : Lakéba, types de côte : morphologie et stratigraphie généralisée
Coastal types of Lakeba : generalized morphology and stratigraphy.

Côte sableuse

Ce quatrième type de côte est localisé au Sud-Ouest entre les deux principaux affleurements de calcaire. Cette côte est caractérisée par une plage sableuse formée de débris récifaux. Elle ressemble à la côte nord en ce qu'un bourrelet sableux de haut de plage apparaît juste en arrière de la plage actuelle. Quant cette haute plage n'est pas directement adossée aux collines, elle se prolonge vers l'intérieur par une plaine colluvio-alluviale et localement à Levuka par une zone marécageuse. Cette haute plage repose toutefois sur une argile de mangrove. Comme pour la plage des côtes calcaires, elle semble stabilisée. Un échantillon de sable prélevé à 100 m de la ligne de rivage actuelle et à 1,3 m de profondeur a été daté de 1875 ± 125 BP (G x 4477).

Dans le marais de Levuka qui est étudié par ailleurs dans ce volume (chapitre E), un morceau de corail du genre *Porites*, prélevé sous deux mètres de tourbe a été daté de 3155 ± 150 BP. Il semble donc que les formations d'arrière plage se trouvent actuellement stabilisées et fossilisées.

Ce relief semble d'ailleurs actuellement soumis à une intense érosion côtière. La mise à nu en bord de plage de niveaux de mangrove fossiles en est une preuve. Des témoins de « beach rock » isolés sur le platier récifal attestent de l'importance de ce processus d'érosion et aussi probablement de son ancienneté. Ceci n'empêche que les grandes tempêtes peuvent transporter des sables et des ponces loin à l'intérieur des terres.

3.2.2 - Dynamique des formations côtières

Ces formations côtières qui se seraient construites très récemment sont actuellement en équilibre instable. Elles sont formées de matériaux provenant du complexe récifal (sables et graviers calcaires) de l'île (argiles et graviers calcaires) ou d'une accumulation de matière organique in situ. Dans le Nord et dans le Sud-Ouest, ces trois éléments ont contribué à la construction de la plaine côtière. Sur la côte est les alluvions dominent dans les sédiments déposés. Elles favorisent l'extension d'une mangrove très importante. Par opposition, les accumulations récifales ont été maximales sur la côte calcaire. Le paysage côtier de Lakéba peut être ainsi perçu, suivant les secteurs, comme une extension vers la terre de l'écosystème périphérique récifal, comme une extension vers la mer de l'écosystème insulaire terrestre ou comme une combinaison des deux.

Il semble également que la construction de cette plaine côtière soit très récente. En particulier des changements notables sont apparus dans sa constitution et dans son extension au cours des trois derniers millénaires d'occupation humaine. Ces modifications sont probablement en partie liées à la déforestation et à l'accélération de l'érosion qu'elle a entraînée.

Il y a toutefois de nombreuses preuves pour indiquer que ce processus de construction est maintenant en grande partie terminé. Il ne reste que très peu de coraux vivants sur le platier récifal et, par voie de conséquence, l'alimentation en sable calcaire des plages est réduite. Deux raisons peuvent être avancées à cela :

— une légère baisse du niveau marin, par rapport à celui au cours duquel coraux et microatolls se développaient rapidement, a fait émerger un complexe récifal dur peu générateur de sédiments.

A cette raison majeure on peut aussi ajouter :

— l'accumulation des sédiments sur la partie intérieure du récif qui a réduit d'autant les surfaces susceptibles de produire des sédiments récifaux.

Ceci est particulièrement net sur la côte sableuse où il semble y avoir à l'heure actuelle, plus des remaniements de sable sur place que des apports de sédiments frais. Cette stabilisation de la surface de la plaine côtière a pour corollaire une importante

beach. Where this upper beach does not merge directly into the hills it is extended inland by a colluvio-alluvial plain and, in the vicinity of Levuka, by a swamp. This upper beach overlies mangrove clay and, as in the case of the beaches of the limestone coast, it appears to have stabilized. A sample of sand taken from a spot 100 metres from the present-day waterline and from a depth of 1.3 metres was dated at 1 875 ± 125 BP (G x 4 477).

In the Levuka swamp, which is studied in Chapter E, a piece of Porites *coral, taken from under two metres of peat was dated at 3 155 ± 150 BP. It therefore seems that the formations behind the beach are now stabilized and fossilized.*

This relief, moreover, seems to be at present subject to strong coastal erosion, evidenced by the denudation of layers of mangrove fossils at the edge of the beach. Isolated remnants of beach rock on the reef flat also indicate the strength of this erosion and suggest that it is probably very old. Nevertheless, violent storms can drive sand and pumice far inland.

3.2.2 - The dynamics of the coastal formations

These coastal formations, probably of very recent construction, are now unstable. Their materials came from the reef complex (calcareous sands and gravels), from the island (clays and calcareous gravels) or from an accumulation of organic matter in situ. *In the north and south-west, these three elements have helped to construct the coastal plain. On the eastern coast the sediments are chiefly alluvial and encourage the very extensive mangroves to spread. In contrast to this, the reef accumulations are at their most abundant on the limestone coast. Accordingly, the coastal landscape of Lakeba may be regarded, according to the place in question, as a landward extension of the peripheral reef ecosystem, as a seaward extension of the terrestrial island ecosystem or as a combination of the two.*

Moreover, the coastal plain seems to be of very recent construction. In particular, there have been significant changes in its constitution and extension over the last three thousand years of human occupation, changes which are likely to be due partly to deforestation and partly to the more rapid erosion it occasioned.

However, there is much evidence to suggest that the process of construction is now nearly over. There remains very little live coral on the reef flat and consequently the beaches now receive little calcareous sand. Two reasons may be given for this :

— a slight drop in the sea level, in relation to the level at which coral and microatolls developed rapidly, has caused a hard reef complex yielding little sediment to break the surface.

To this major reason can be added another :

— the accumulation of sediments on the inner part of the reef has proportionately reduced the surfaces likely to produce reef sediments.

This is particularly apparent on the sandy coast where there currently appears to be more movement of the sand in situ *than supplies of fresh sediments. The corollary of this stabilization of the coastal plain surface is strong coastal erosion, which is particularly intense and active along the northern and south-western coasts of the islands. Here, traces of the erosion occasioned by recent storms and Hurricane Val were clearly visible in March 1979, one year after the event. It seems in particular that the water-line at the villages of Vakano, Nasaqalau, Tubou-Levuka and Waciwaci might well be seriously threatened in the future. The risk would seem to be less for Vakano and Nasaqalau, in view of the present extension*

érosion côtière. Erosion qui est particulièrement intense et active le long des côtes nord et sud-ouest de l'île. Dans ces secteurs, des traces d'érosion causées par les tempêtes récentes et par le cyclone Val étaient très visibles en mars 1979 un an après le cyclone. Il semble en particulier que la ligne de rivage au niveau des villages de Vakano, de Nasaqalau, de Tubou-Levuka et de Waci Waci risque dans l'avenir d'être très menacée. Ce risque serait moins grave pour Vakano et Nasaqalau, vu l'extension actuelle de la mangrove que pour Tubou-Levuka et Waci Waci où cette dernière est absente.

N.B - Ce chapitre a été résumé et traduit en français par M. LATHAM. Pour plus de détails se reporter à « Lakeba's coast a geomorphological reconnaissance » UNESCO/UNFPA Fiji island report N° 5. Mac LEAN 1979.

of the mangroves, than for Tubou-Levuka and Waciwaci, where there are no mangroves.*

** This section has been summarized by M. LATHAM. For Further details, see « Lakeba's coast ; a geomorphological reconnaissance », UNESCO/UNFPA Fiji Island Report No 5, Mc LEAN, 1979.*

4 - LES SOLS

Si par son climat et sa géologie, Lakéba peut paraître une île assez monotone, la longue histoire géomorphologique qui l'a marqué a permis une assez nette différenciation des sols. TWYFORD et WRIGHT (1965) avaient reconnu sur cette île non seulement des « ferruginous latosols » ou « talasiga soils » mais aussi des « latosolic soils », des « humic latosols », des « nigrescents soils », des « gleys soils » et des sols récents d'alluvions.

4.1 - Les unités pédologiques

L'étude de détail entreprise permet de distinguer huit grands groupes de la légende F.A.O. (1974) et sept classes de la classification française (C.P.C.S. 1967) (Annexe 2). On peut toutefois regrouper ces sols en trois grands ensembles : des sols à évolution ferrallitique, des sols à évolution fersiallitique et des sols peu évolués et hydromorphes.

Les sols à évolution ferrallitique

Les sols à évolution ferrallitique (acric, humic et rhodic ferralsols et ferrallic cambisols) couvrent près de 50 % de la surface de Lakéba. Ils représentent, à l'exception des humic ferralsols, ce que TWYFORD et WRIGHT avaient dénommé « Talasiga soils ». Ils ont en commun une altération profonde de la roche avec individualisation de minéraux argileux de la famille des kaolinites et de sesquioxydes de fer et d'aluminium ; cette évolution est bien représentée par un rapport molléculaire SiO_2/Al_2O_3 inférieur à 2 (tableau 5).

Les acric ferralsols

Les plus évolués parmi ces sols sont sans conteste les acric ferralsols que l'on peut observer sur les plateaux des niveaux Ia et Ib. Ces sols, brun rouge, profonds ont une texture limono-argileuse et une forte porosité dans leurs horizons superficiels. Ils montrent une forte différenciation texturale, principalement due à un micro-concrétionnement de leurs horizons superficiels. Ils sont riches en concrétions ferro-manganèsifères et peuvent contenir dans leurs profils un niveau induré manganèsifère. Ils ont une composition minéralogique à base de sesquioxyde d'aluminium, de fer et de manganèse : gibbsite, boehmite, hématite, goethite... (Tableau 6). Leur richesse en aluminium en fait de véritables bauxites. Un peu de métahalloysite peut apparaître au niveau de leurs horizons profonds ; leurs horizons A et B sont toutefois dépourvus de phyllites et ont ainsi une capacité d'échange très réduite, limitée à celle de la matière organique. Or, ces sols qui sont couverts d'une végétation très

4 - SOILS

Though Lakeba's climate and geology could give the impression that it is a relatively uniform island, its long geomorphological history has given rise to a clear differentiation of its soils. TWYFORD and WRIGHT (1965) recognized not only « ferruginous latosols » or « talasiga soils », but also « latosolic soils », « humic latosols », « nigrescent soils », « gley soils » and recent alluvial soils.

4.1 - The pedological units

Our detailed study made it possible to distinguish eight Great Soil Groups according to the FAO (1974) legend and seven by the French classification (C.P.C.S. 1967 ; see Annex 2). It is possible to regroup these soils into three main complexes : soils of ferrallitic evolution, soils of fersiallitic evolution, and immature and hydromorphic soils.

Soils of ferrallitic evolution

Soils of this complex (Acric, Humic and Rhodic Ferralsols, and Ferralic Cambisols) occupy almost 50 % of the surface of Lakeba. With the exception of the Humic Ferralsols, they represent what Twyford and Wright termed the « talasiga soils ». All are characterized by deep weathering of the parent rock and the sorting out of clay minerals of the kaolinite family and of iron and aluminium sesquioxides. This evolution is brought out clearly by a SiO_2/Al_2O_3 molecular ratio of less than 2.O (Table 5).

Acric ferralsols

The most mature of these soils are undoubtedly the acric ferralsols encountered on the Ia and Ib plateaux levels. Deep and brownish red in colour, they have a loamy clayey texture with high porosity in their upper horizons. They exhibit a marked differentiation in texture, chiefly owing to the development of microconcretions in their upper horizons. They are rich in ferro-manganiferous concretions and their profiles may contain a hard manganiferous layer. The mineral composition of these soils consists basically of aluminium, iron and manganese sesquioxides : gibbsite, boehmite, haematite, goethite, etc. (Table 6). By virtue of their high alumina content these soils can be described as genuine bauxites. Some metahalloysite may also appear in deep horizons, but the A and B horizons are lacking in phyllites, and thus have a very low exchange capacity, restricted to organic matter. There is, however, a very limited supply of organic matter since these soils are covered by a sparse vegetation which is regularly

Tableau 5. — Caractéristiques physico-chimiques des sols à évaluation ferrallitique

Table 5. — Physico-chemical characteristics of soils of ferrallitic evolution

Type de profil / *Type of profile*		Acric Ferralsols					Humic Ferralsols				Ferralic cambisols		
Echantillon/*Sample n°*		LK 121	LK 122	LK 123	LK 124	LK 126	LS 101	LS 102	LS 103	LS 104	LS 111	LS 112	LS 113
Profondeur en cm/*Depth in cm*		0-8	30-40	60-70	100-110	180-190	0-10	20-30	50-60	102-130	0-5	10-20	90-100
Horizons/*Horizons*		A_1	A_3	B_1	B_2	B_3C	A_1	A_3	B_2	B_3C	A_1	A_3	C
Argile/*Clay*	%	10,5	22,5	52,0	72,5	66,0	28,5	40,5	33,0	19,0	17,0	29,0	—
Limons fins/*Fine silts*	%	11,5	27,0	26,0	15,0	16,0	33,5	32,0	35,0	34,0	22,5	23,0	—
Limons grossiers/*Coarse silts*	%	4,5	14,4	2,8	1,9	4,3	4,8	6,5	11,0	10,1	6,8	11,5	—
Sables fins/*Fine sands*	%	31,7	14,5	5,4	2,4	4,9	10,5	9,4	10,2	15,1	13,6	15,7	—
Sables grossiers/*Coarse sands*	%	33,1	18,1	8,1	3,3	4,4	9,8	3,7	5,8	17,5	27,9	13,6	—
C organique/*Organic carbon*	%	3,0	0,35	—	—	—	4,34	1,75	0,25	—	3,34	1,91	—
N/*N*	%	0,15	0,03	—	—	—	0,3	0,11	0,02	—	0,18	0,1	—
C/N/*C/N*	%	20	10	—	—	—	14,5	15,9	11,0	—	18,6	19,1	—
pH		5,3	4,5	4,8	4,5	4,8	5,6	4,7	4,8	4,5	4,9	5,0	4,0
Complexe échangeable/*Exchangeable complex*													
Ca + + en mé/100 g		2,2	0,1	0,1	0,1	0,1	6,1	0,16	0,16	0,05	2,2	0,6	0,04
Mg + + »		2,3	0,1	0,1	0,1	6,8	1,6	1,2	0,6	3,5	1,9	0,56	
K + »		0,3	0,07	0,02	0,01	0,02	0,23	0,05	0,1	0,35	0,55	0,26	0,04
Na + »		0,2	0,05	0,05	0,03	0,04	0,37	0,23	0,25	0,64	0,28	0,17	0,20
C.E.C. »		30,7	10,2	2,7	0,01	0,01	27,6	18,2	7,8	10,6	22,4	27,6	5,2
Taux de saturation/*Base saturation*		16,6	3,1	0,1	—	—	48,9	11,2	21,9	15,5	29,1	10,6	16,2
Analyse totale Triacide/ ***Triacid total analysis***													
Perte aux feux/*Loss on ignition*	%	32,0	26,5	25,8	24,6	22,0	20,0	16,1	13,9	14,3	20,1	15,8	13,3
Insoluble	%	2,6	3,0	4,2	2,9	2,4	0,50	0,70	0,40	0,50	0,5	0,5	0,7
$Si O_2$	%	6,5	0,5	0,5	0,6	4,0	34,0	36,7	36,7	39,6	35,0	35,5	38,4
$Al_2 O_3$	%	38,0	48,5	48,5	47,5	40,9	28,5	32,5	32,0	34,5	25,8	29,2	31,2
$Fe_2 O_3$	%	16,5	18,5	18,0	24,0	27,3	12,5	12,3	14,5	9,0	12,0	15,8	13,5
$Ti O_2$	%	1,7	2,1	1,9	2,5	2,6	2,02	1,79	1,67	1,90	1,22	1,70	1,42
$Mn O_2$	%	3,5	3,5	4,0	0,33	0,22	0,28	0,17	0,25	0,19	0,09	0,09	0,08
Ca O	%	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,36	0,14	0,18	0,17	0,3	0,18	0,18
$K_2 O$	%	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,13	0,09	0,07	0,06	0,04	0,04	0,03
$P_2 O_5$	%	0,14	0,10	0,12	0,10	0,03	0,20	0,17	0,16	0,16	0,14	0,11	0,05
Moll $Si O_2/Al_2O_3$		0,31	0,02	0,03	0,02	0,15	2,02	1,92	1,94	1,94	2,30	2,06	2,09

claire, brûlant régulièrement, sont généralement pauvres en matière organique. Ils correspondent ainsi bien à la définition des acric ferralsols dans la légende F.A.O. et à celle des acrothox dans la Soil Taxonomy (U.S. Survey staff 1975). Ils sont pauvres en matière organique, en azote, en potasse et en phosphore. Ils sont enfin acides et désaturés en bases. Ce sont donc des sols assez peu fertiles.

Les rhodic et humic ferralsols

Les rhodic et humic ferralsols qui se développent dans la zone centrale de l'île sont marqués par une évolution ferrallitique beaucoup plus modérée. Ce sont des sols rouges ou jaunes, argileux et moyennement profonds. Ils ont une composition minéralogique à base de fire-clay, une variété désordonnée de la kaolinite, de magnétite et de goethite. L'individualisation de la gibbsite est faible au niveau de ces profils. La capacité d'échange de la matière minérale est bien supérieure à celle des acric ferralsols, elle reste toutefois inférieure à 16 mé/100 g

burned. They correspond well to the definition of acric ferralsols in the FAO legend and with the acrothox definition in the Soil Taxonomy (United States, Soil Survey Staff, 1975). They are poor in organic matter, nitrogen, potassium and phosphorus ; they are acidic, unsatyrated in bases and hence of low fertility.

Rhodic and humic ferralsols

These soils, which develop in the centre of the island, have been subjected to far less intense ferrallitic weathering. They are either red or yellow in colour, clayey and fairly deep. The basic mineral components are « fire clay », an irregular variety of kaolinite, magnetite and goethite. Little gibbsite is encountered in these profiles. The exchange capacity of the mineral matter is much higher than in the acric ferralsols but below 16 me/100 g of clay, which allows their classification as ferralsols. They are acidic and highly unsaturated in bases. Where under forest, the higher organic matter content permits classification as humic

Tableau 6. — Caractéristiques minéralogiques des sols à évolution ferrallitique

Table 6. — Mineralogical characteristics of soils with a ferrallitic evolution

Type de profil/*Type of profile*	Acric Ferralsols					Humic Ferralsols				Ferralic Cambisols		
N° échantillon/*Sample N°*	LK 121	LK 122	LK 123	LK 124	LK 126	LS 101	LS 102	LS 103	LS 104	LS 111	LS 112	LS 113
Profondeur en cm/*Depth in cm*	0-8	30-40	60-70	100-110	180-190	0-10	20-30	50-60	90-100	0-5	10-20	90-100
Horizons	A_1	A_3	B_1	B_2	B_3C	A_1	A_3	B_2	B_3C	A_1	A_3	C
Gibbsite	++++	++++	++++	++++	++++	++	++	++	+	+	+	
Boehmite	++	++	++	++	++							
Goethite	+	+	+	+	+	++	++	++	+	+	+	+
Hematite	+++	+++	+++	+++	+++					++	+++	++
Magnetite						+++	++	+++	+	++	+++	++
Metahalloysite					++							
Fire Clay						+++	+++	+++	++	+++	+++	+++
Montmorillonite												
Produits amorphes/*Amorphous products*	++	++	++	++	++	+	+	+	+	+	+	+ + +

++++ abondant/*very abundant*
+++ assez abondant/*abundant*
++ un peu/*some*
+ traces/*traces*

d'argile, ce qui permet de classer ces sols dans les ferralsols. Ils sont acides et fortement désaturés en bases. La teneur en matière organique des sols sous forêt est assez élevée ce qui permet de les classer dans les humic ferralsols. Sous végétation ouverte, elle est par contre plus faible, les sols sont alors généralement des rhodic ferralsols. A cette plus grande richesse en matière organique des humic ferralsols sont liées des teneurs plus élevées en azote, potasse et phosphore. Ces sols sont donc relativement fertiles quand les rhodic ferralsols sont beaucoup plus pauvres chimiquement.

Les ferralic cambisols

Enfin les ferralic cambisols sont les sols les mieux représentés sur Lakéba. Ils couvrent les collines dénudées de la formation à talasiga et correspondent à l'orthotype des talasiga soils tel qu'il est défini par TWYFORD et WRIGHT. Ce sont des sols à profil tronqué formés d'un horizon superficiel rouge, sablo-limoneux de 10 à 40 cm d'épaisseur surmontant un horizon d'altération de la roche à structure conservée. Ce sont des sols acides, pauvres en matière organique, en azote, en potasse et en phosphore. Leur capacité d'échange est plus élevée que celle des sols précédents ce qui ne permet pas de les classer dans les ferralsols. Le caractère cambique de leur horizon d'altération les placent dans les cambisols. Ce sont cependant des sols à évolution ferrallitique. Ils ont une composition minéralogique à base de fire-clay, d'hématite et de magnétite. On note dans leurs horizons supérieurs des traces de gibbsite. Ils ont ainsi été classés parmi les ferralic cambisols. Ces sols tronqués et très pauvres en éléments nutritifs, forment probablement l'entité édaphique la moins fertile de l'archipel.

Ainsi, on observe trois stades d'évolution parmi les sols ferrallitiques de Lakéba :

— des sols profonds à caractères bauxitiques, les acric ferralsols ;

— des sols moyennement profonds à caractères ferrallitiques marqués, les rhodic et humic ferralsols ;

— et des sols tronqués à caractères ferrallitiques modérés, les ferralic cambisols.

Ces sols forment un ensemble à fertilité très réduite.

ferralsols, but under more open vegetation the organic matter content is less abundant so that the soils generally become rhodic ferralsols. In the humic ferralsols, the greater concentration of organic matter is linked with higher proportions of nitrogen, potassium and phosphorus. These soils are therefore relatively fertile whereas the rhodic ferralsols are chemically much poorer.

Ferralic Cambisols

These are the most common soils on Lakeba. They cover the denuded hills of the talasiga formation and correspond to the prototype « talasiga soils » described by TWYFORD and WRIGHT. They are truncated soils with a superficial red sandy-loam horizon 10 to 40 cm deep topping a weathered horizon in which the original rock structure is preserved. They are acidic and poor in organic matter, nitrogen, potassium and phosphorus. Exchange capacity is higher than for the soils discussed above, so that they cannot be classed as ferralsols, and the cambic character of their weathering horizon places them among the cambisols. They are nevertheless soils of ferrallitic evolution. They have a mineral composition in which fire clay, haematite and magnetite are dominant. Traces of gibbsite are found in their upper horizons and for these reasons they are classed as ferralic cambisols. These truncated soils, very poor in nutrients, probably constitute the least fertile edaphic entity of the archipelago.

In short, there are three stages in the evolution of Lakeba's ferrallitic soils :

— deep soils of a bauxitic character, the acric ferralsols ;

— moderately deep soils of a marked ferrallitic character, the rhodic and humic ferralsols ;

— and truncated soils of a moderately ferrallitic character, the ferralic cambisols.

The soils form a group of very low fertility.

Soils of fersiallitic evolution

On Lakeba, soils in this group (chromic luvisols, humic and eutric cambisols) have in common a moderate profile differentiation, the presence of smectites in their clayey

Tableau 7. — Caractéristiques physico-chimiques des sols à évolution fersiallitique

Table 7.— Physico-chemical characteristics of soils of fersiallitic evolution

Type de profil/*Type of profile*	*Chromic Luvisols*				*Eutric cambisols sous forêt under forest*			*Eutric cambisols sous roseaux under reeds*		
Echantillon/*Sample N°*	LL 31	LL 32	LL 33	LL 34	LAK 31	LAK 32	LAK 33	LC 91	LC 92	LC 93
Profondeur en cm/*Depth in cm*	0-10	20-30	120-130	200-220	0-4	20-25	40-50	0-10	15-25	50-60
Horizons	A_1	A_3	B_2	B_3C	A_1	A_3	(B) C	A_1	A_3	(B) C
Argile %/*Clay*	20,8	23,4	26,0	22,0	59,0	59,0	67,5	34,0	29,5	55,5
Limons fins %/*fine silts*	39,5	32,2	29,1	26,8	20,0	22,0	10,5	24,5	29,5	10,5
Limons grossiers %/*coarse silts*	7,9	5,9	8,4	9,3	5,5	6,5	7,0	8,1	6,8	3,3
Sables fins %/*Fine sands*	13,6	13,4	19,9	22,9	8,0	9,0	8,0	10,7	10,8	7,7
Sables grossiers %/*Coarse sands*	12,7	21,9	15,4	18,4	2,0	3,0	5,5	11,4	14,4	13,4
C Organique % /*Organic carbon*	2,9	0,84	—	—	6,0	2,4		2,8	2,3	
N %	0,14	0,05	—	—	0,55	0,09		0,21	0,20	
C/N	20,7	16,5	—	—	11	—		13,4	11,4	
pH	5,3	5,3	5,5	5,5	6,0	4,8	5,0	5,8	5,7	5,9
Complexe échangeable/*Exchangeable complex*										
Ca^{++} en mé/100 g	2,5	2,1	2,5	2,2	9,4	2,9	2,7	10,5	—	12,2
Mg^{++} en mé/100 g	7,3	8,6	19,7	24,1	6,8	3,1	3,7	10,6	—	12,9
K^+ en mé/100 g	0,4	0,3	0,2	0,2	0,33	0,02	0,05	0,86	—	0,2
Na^+ en mé/100 g	0,3	0,4	0,3	0,4	1,30	0,67	0,61	0,24	—	0,6
C.E.C. en mé/100 g	26,0	20,8	26,6	34,7	23,7	11,9	13,3	29,2	—	37,8
Taux de saturation B.S. % /*Base saturation*	40,4	54,8	85,3	77,5	75	56	53	76,0	—	68,5
Analyse totale triacide/*Triacid total analysis*										
Perte au feu % /*Loss on ignition*	15,5	13,1	11,3	11,3	23,5	15,0	15,0	14,7	13,9	12,7
Insoluble %	1,7	1,1	1,1	0,95	4,7	2,4	0,95	8,2	7,8	2,0
SiO_2 %	30,1	35,1	38,7	40,5	32,9	39,1	35,5	31,6	32,1	41,3
Al_2O_3 %	24,0	26,5	26,0	26,0	20,7	24,3	25,8	19,3	20,0	25,5
Fe_2O_3 %	24,0	19,8	18,3	17,3	13,9	16,7	18,8	20,0	20,8	14,8
TiO_2 %	3,2	2,15	2,1	1,9	—	—	—	3,25	3,22	1,57
MnO_2 %	0,7	0,45	0,48	0,53	0,17	0,14	0,28	0,39	0,24	0,04
CaO %	0,30	0,26	0,24	0,27	0,44	0,07	0,06	0,53	0,53	0,48
K_2O %	0,14	0,15	0,15	0,21	0,02	0,01	0,01	0,14	0,14	0,12
P_2O_5 %	0,21	0,19	0,13		0,07	0,06	0,09	0,21	0,18	0,06
Moll SiO_2/Al_2O_3	2,13	2,25	2,53	2,64	2,70	2,73	2,34	2,78	2,72	2,75

Les sols à évolution fersiallitique

Les sols à évolution fersiallitique (chromic luvisols, humic et eutric cambisols) ont en commun sur Lakéba, une différenciation modérée de leur profil, la présence de smectites dans leur complexe argileux et une individualisation de fer sous forme d'oxydes ou d'hydroxydes. Leur rapport molléculaire SiO_2/Al_2O_3 est supérieur à 2. Ce sont des sols formés sur des surfaces géomorphologiques relativement récentes.

Les chromic luvisols

Les chromic luvisols se développent sur les larges formations colluvio-alluviales des vallées. Ce sont des sols brun rouge, profonds, limono-argileux à argileux. Ils sont constitués d'un assemblage de petits galets d'andésite très altérés qui donnent au sol une faible cohésion. Ils ont une composition minéralogique dominée par la métahalloysite. On note toutefois de faibles quantités de montmorillonite. Parmi les sesquioxydes, l'hématite et la magnétite dominent, mais des traces de gibbsite et de goethite ont pu être mise en évidence. On observe dans

complex and the separation of iron oxides and hydroxides. The SiO_2/Al_2O_3 molecular ratio exceeds 2.0 and they are soils formed on relatively recent landforms.

Chromic Luvisols

These soils have developed on the extensive colluvio-alluvial formations in the valleys. They are brownish red in colour, deep, clayey to clayey-loamy in texture and are made up of clusters of very weathered small andesitic fragments which give the soil a loose cohesion. The mineral composition is dominated by metahalloysite, with small amounts of montmorillonite. Among the sesquioxides, haematite and magnetite predominate, but there are traces of gibbsite and goethite. There is evidence of clay movement in their profile, yielded by clay skins on the coarser elements and a light grainy centre. These soils are moderately acidic and only slightly saturated in bases, permitting their classification in the FAO legend as luvisols and chromic luvisols according to their colour. Covered by a talasiga vegetation, they are poor in organic matter,

Tableau 8. — Caractéristiques minéralogiques des sols à évolution fersiallitique
Table 8. — Mineralogical characteristics of soils of fersiallitic evolution

Type de sol/*Type of soil*	*Chromic luvisols*				*Eutric Cambisols*		
N° d'échantillon/*Sample N°*	LS 51	LS 52	LS 53	LS 54	LC 91	LC 92	LC 93
Profondeur en cm/*Depth in cm*	0-5	20-30	70-80	140-150	0-10	15-25	50-60
Horizons	A_1	A_3	B_2	B_3C	A_1	A_3	C
Gibbsite	+ +	+ +	+ +	+ +	+	+	
Goethite	+ +	+ +	+ +	+ +		+	+
Hematite	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+
Magnétite	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+
Métahalloysite	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +
Montmorillonite			+	+	+ + +	+ + +	+ + +
Produits amorphes *Amorphous products*	+ +	+ +	+ +	+ +	+	+	+

+ + + abondant/*abundant*
+ + un peu/*some*
+ trace

leur profil, une migration de l'argile qui se manifeste par des recouvrements sur les éléments grossiers et un léger ventre granulométrique. Ce sont des sols moyennement acides et faiblement désaturés en base ce qui permet de les classer dans la légende F.A.O. en luvisols et en chromic luvisols, vu leur couleur. Enfin ces sols, couverts d'une végétation à talasiga, sont pauvres en matière organique, en azote et en phosphore. Ce sont ainsi des sols assez peu fertiles.

Les eutric cambisols

Les humic et eutric cambisols se développent sur les pentes fortes des versants sous végétation forestière ou sous fourrés à roseaux. Ce sont des sols peu profonds, de couleur brune à brun rouge, argileux, contenant une certaine quantité de blocs et cailloux de roche en voie d'altération dans leur profil, ce qui leur donne leurs caractères cambiques. Ils sont constitués principalement de métahalloysite mais on note une certaine quantité de montmorillonite, de magnétite et d'hématite ainsi qu'un peu de gibbsite et de goethite dans leurs profils. Ces sols sont faiblement acides et riches en bases échangeables. Les horizons superficiels des sols sous forêt sont très humifères, ce qui permet de les distinguer de ceux sous savane au niveau de la phase. Ces sols bien pourvus en base et assez riches en phosphore peuvent être considérés comme moyennement fertiles.

Ainsi ces sols apparaissent comme intermédiaire entre les sols ferrallitiques et les sols franchement fersiallitiques. On observe en effet côte à côte dans leur composition minéralogique des smectites et de la gibbsite. Ce sont en réalité des sols jeunes. Ils ont une fertilité moyenne à médiocre et sont très utilisés en agriculture.

Les sols peu évolués et hydromorphes

Les sols peu évolués et hydromorphes se développent dans les plaines alluviales et côtières récentes. Ils comprennent outre les fluvisols, gleysols et histosols, les sols sur plage calcaire soulevé de type rendziniforme ou rendzinas. Ces sols ont en commun une histoire relativement récente et une faible différenciation de leur profil.

Les fluvisols

Les fluvisols occupent la majeure partie des fonds de vallée et

nitrogen, potassium and phosphorus, and hence of low fertility.

Eutric cambisols

The Humic and Eutric Cambisols occur on steep slopes under forest or reed thickets. They are shallow, brown to reddish-brown in colour and clayey in texture with, in their profile, some large blocks and fragments of rock in the process of weathering, giving them their cambic character. The main mineral component is metahalloysite, but the profile also contains some montmorillonite, magnetite and haematite, together with small quantities of gibbsite and goethite. These soils are slightly acidic and rich in exchangeable bases. Where under forest, the upper horizons are very humiferous, in contrast to those under savanna, which are of a different phase. The soils, well supplied in exchangeable bases and quite rich in phosphorus, may be considered as moderately fertile.

The soils are transitional between the ferrallitic soils and the genuinely fersiallitic soils. In their mineral composition smectites are found in company with gibbsite. They are in fact young soils with a medium to rather low fertility, but are heavily used for agriculture.

Immature and hydromorphic soils

This group of soils occurs on the recent alluvial and coastal plains. Besides fluvisols, gleysols and histosols, it includes the soils on the uplifted limestone beaches of the rendzina or similar type. All these soils have a short history and weakly differentiated profiles.

Fluvisols

Fluvisols occupy most of the valley bottoms and the eastern coastal plain. They are deep and clayey, and sometimes show some hydromorphic staining at depth. A well-structured humiferous horizon overlies a subsoil in which horizons can barely be distinguished. These soils are fairly rich in organic matter, nitrogen, phosphorus and exchangeable bases. The lack of any diagnostic horizon in their profiles and their weakly saturated bases allow them to be classified among the eutric fluvisols but some of them might be starting to evolve towards the Cambisols. Because of their depth and their fertility, these are the best agricultural soils on the island.

Tableau 9. — Caractéristiques physico-chimiques des sols peu évolués et hydromorphes

Table 9. — Physico-chemical characteristics of immature and hydromorphic soils

Type de profil/*Type of profile*	Histosols		Gleysols			Fluvisols			Rendzinas	
Echantillon/*Sample N°*	LAK 11	LAK 12	LAK 21	LAK 22	LAK 23	LL 11	LL 12	LL 13	LC 111	LC 113
Profondeur en cm/*Depth in cm*	*0-15*	*50-60*	*0-10*	*25-35*	*50-60*	*0-10*	*30-40*	*120-130*	*0-10*	*55-60*
Horizons	0_1	O_3	A_1	A_3	(B)	A_1	A_3	C	A_1	C
Argile %/*Clay*	43,0	38,0	50,0	72,5	71,0	29,7	51,4	48,8	11,5	—
Limons fins %/*Fine silts*	9,0	11,0	12,5	15,5	16,5	33,4	30,4	27,3	15,5	—
Limons grossiers %/*Coarse silts*	3,0	4,5	3,5	5,0	6,0	5,9	5,5	7,9	1,3	—
Sables fins %/*Fine sands*	2,0	8,0	2,0	2,0	2,5	8,5	6,1	4,6	14,9	—
Sables grossiers %/*Coarse sands*	0,7	0,9	0,1	0,5	0,5	12,7	2,8	0,8	30,1	—
C organique % /*Organic carbon*	13,5	13,9	12,7	2,2	2,4	5,7	1,5	—	8,33	—
N %	0,13	0,5	0,35	0,26	0,14	0,42	0,09	—	0,68	—
C/N			—	—		13,7	17,4	—	12	—
pH	4,4	2,6	5,6	3,9	4,1	6,5	6,3	6,0	7,1	7,1
Complexe d'échange/*Exchangeable complex*										
Ca^{++} mé/100 mg	14,1	11,3	19,6	4,1	4,4	24,4	15,2	9,7	—	—
Mg^{++} mé/100 mg	3,9	4,1	11,8	2,6	2,8	7,8	7,3	4,7	5,9	50,4
K^{+} mé/100 mg	0,18	0,28	0,64	0,04	0,03	0,3	0,1	0,1	0,50	0,07
Na^{+} mé/100 mg	1,7	2,71	1,6	0,77	0,84	0,4	0,2	0,2	5,7	5,9
C.E.C. mé/100 mg	—	47,9	—	27,2	24,0	45,0	31,5	20,9	—	—
Taux de saturation % /*Base saturation*	—	38,4	—	28	34	73,1	72,3	70,3	—	—
Analyse totale Triacide/*Triacid Total analysis*										
Perte au feu % /*Loss on ignition*	44,9	38,3	36,2	16,7	14,6	19,7	13,5	12,1	—	—
Insoluble %	0,6	0,6	3,4	6,4	6,9	5,4	3,0	1,5	—	—
SiO_2 %	30,5	28,5	28,5	42,0	40,7	30,7	35,5	38,8	—	—
Al_2O_3 %	15,8	20,5	13,1	22,0	19,9	21,3	25,5	28,5	—	—
Fe_2O_3 %	4,4	7,9	13,2	9,0	12,4	17,8	17,5	15,5	—	—
$Ti O_2$ %	—	—	—	—	—	2,5	2,3	2,0	—	—
$Mn O_2$ %	0,05	0,05	0,22	0,06	0,07	0,4	0,3	0,2	—	—
Ca O %	0,57	0,60	1,31	0,35	0,38	1,11	0,65	0,48	—	—
K2 O %	0,01	0,01	0,04	0,02	0,02	0,12	0,10	0,11	—	—
P2 O5 %	0,12	0,04	0,13	0,05	0,06	0,24	0,12	0,04	0,18	0,04
Moll SiO_2/Al_2O_3	3,28	2,36	3,69	3,24	3,47	2,31	2,36	2,31	—	—

la plaine côtière sur la moitié orientale de l'île. Ce sont des sols profonds argileux, présentant parfois quelques taches d'hydromorphie en profondeur. Ils sont composés d'un horizon humifère bien structuré surmontant des horizons peu différenciés. Ils sont assez riches en matière organique, en azote, en bases échangeables et en phosphore. L'absence d'horizon diagnostic marqué dans leurs profils et leur faible désaturation en base permet de les classer dans les eutric fluvisols. Pour certains on peut envisager un début d'évolution vers les cambisols. Par leur profondeur et leur fertilité, ces sols constituent les meilleures terres agricoles de l'île.

Les gleysols et les histosols

Ces sols se développent au sein de la plaine alluviale dans des zones marécageuses. Les gleysols se forment principalement dans les zones marécageuses situées à l'intérieur de l'île. Ce sont des sols profonds marqués par un engorgement permanent dès la surface. Ils sont humifères, acides bien qu'assez riches en

Gleysols and histosols

These are soils of the alluvial plain in the swamps. Gleysols are found mainly in the inland swamps. They are deep, marked by permanent ground-water saturation reaching to the surface. They are humiferous and acidic, though quite rich in exchangeable bases, and yet often rather poor in potassium and phosphorus. The presence of a gley horizon close to the surface and their richness in organic matter places them among the humic gleysols.

The histosols prefer the sub-coastal swamps fed by small water catchments. They too are saturated to the surface and may be formed of accumulations of peat to a depth of two or three metres. They are often very acidic and poor in plant nutrients.

These soils have traditionally been cultivated for irrigated taro and seem to have a fairly high production potential, though that of the gleysols is higher than that of the histosols.

bases échangeables mais souvent assez pauvres en potasse et en phosphore. La présence d'un gley à proximité de la surface et leur richesse en matière organique permet de les classer dans les humic gleysols.

Les histosols apparaissent plutôt dans des zones marécageuses subcôtières alimentées par des bassins versants de taille réduite. Ils sont engorgés dès la surface et peuvent être formés d'une accumulation de tourbes sur deux à trois mètres d'épaisseur. Ils sont souvent très acides et pauvres en éléments nutritifs pour les plantes.

Ces sols sont traditionnellement cultivés en taros irrigués et ont un potentiel de production assez élevé, plus élevé toutefois pour les gleysols que pour les histosols.

Les rendzinas

Les rendzinas se forment sur les plaines côtières sableuses de la moitié occidentale et méridionale de l'île. Ce sont des sols peu profonds, sableux à sables calcaires, présentant souvent une nappe saumâtre à faible profondeur. Ils sont en général assez riches en matière organique mais ont des réserves en phosphore et en potasse réduites. Ils sont le domaine d'élection des cocotiers.

Les sols des plaines constituent donc un ensemble assez hétérogène, sous la dépendance de leurs matériaux originels, volcaniques et calcaires et de l'hydromorphie. Ce sont les sols les plus fertiles de l'île et les plus cultivés.

Ainsi les sols de Lakéba forment un ensemble varié et original. Cette variété apparaît tant dans les caractéristiques, physico-chimiques et minéralogiques des sols que dans leur degré de fertilité. Huit grands groupes de la légende FAO ont été reconnus sur l'île. Elle contraste avec la relative homogénéité pédologique d'îles volcaniques plus récentes comme Taveuni ou d'atolls surélevés comme Kabara.

L'originalité des sols de Lakéba vient de la présence de certains sols peu étudiés jusqu'à présent comme les acric ferralsols à caractères bauxitiques des plateaux ou les chromic luvisols des terrasses anciennes. Cette originalité se traduit par des difficultés au niveau de la classification en particulier dans la classification française et dans la « Soil Taxonomy ».

4.2 - La pédogénèse et la répartition des sols

Si Lakéba représente un milieu pédologique varié et original, cela tient à des conditions de pédogénèse diversifiées. Le climat, la géologie, la géomorphologie et le couvert végétal sont autant de facteurs qui ont servi de guide à la pédogénèse et à la répartition des sols.

La pédogénèse

Le climat actuel, tropical océanique, qui affecte Lakéba permet sur cette île le développement de la ferrallitisation qui est parfaitement représentée au niveau de la zone sommitale, peu accidentée, par des rhodic ferralsols. Dans ces sols on note un faible départ de silice et une individualisation modérée de gibbsite. Ces conditions pédogénétiques sont favorisées par la topographie faiblement ondulée de cette zone sommitale, et par sa couverture forestière ou para-forestière. Ces conditions sont toutefois très profondément modifiées sur pente forte et sur les zones couvertes d'une maigre végétation à Talasiga. Dans ces secteurs, le ruissellement peut l'emporter sur l'infiltration et l'altération apparaît bien moins agressive. Cela se traduit dans les sols par une moins bonne élimination de la silice et des rapports Si O_2/Al_2O_3 légèrement supérieurs à 2 pour les ferrallic cambisols et très supérieurs à 2 pour les eutric et humic

Rendzinas

Soils of this group occur on the sandy coastal plains of western and southern Lakeba. They are shallow and sandy, with calcareous sands, and often have a brackish watertable quite close to the surface. They are generally quite rich in organic matter but have small reserves of phosphorus and potassium. These are the preferred soils of the coconut plantations and groves.

The lowland soils of Lakeba are thus rather heterogeneous, their nature depending on the volcanic, calcareous or hydromorphic parent materials. They are the most fertile soils of the island and the most heavily cultivated.

Clearly, the soils of this island are both varied and unusual. Their variety emerges as much from their physico-chemical characteristics and mineral content as from their degree of fertility. Eight Great Soil Groups of the FAO legend have been identified on the island, in sharp contrast to the relative pedological uniformity of more recent volcanic islands such as Taveuni or of uplifted atolls like Kabara.

The unusual nature of Lakeba's soils derives from the presence of certain soils, such as the bauxitic acric ferralsols on the plateaux or the chromic luvisols on the older terraces, which have so far been little studied, and it has raised difficulties in the application of classification systems, particularly the French classification and the Soil Taxonomy.

4.2 - Pedogenesis and distribution of soils

The fact that Lakeba has a varied and unusual collection of soils is due to great diversity in pedogenetic conditions. Climate, geology, geomorphology and the plant cover have all influenced the pedogenesis and distribution of its soils.

Pedogenesis

The present tropical oceanic climate permits ferrallitization of a type well represented in the rounded uplands by rhodic ferralsols. Slow eluviation of silica and a moderate concentration of gibbsite characterize the soil-forming processes of this area. These pedogenetic conditions are favoured by the slightly undulating topography of the central uplands and by the forest or para-forest cover but are radically different on steep slopes and in areas overlain with sparse talasiga vegetation. In these areas, runoff may prevail over seepage and weathering seems much less active. This shows up in the soil through a slower elimination of silica and a SiO_2/Al_2O_3 ratio of just over 2.0 for the ferralic cambisols and well over this level for the eutric and humic cambisols. A little montmorillonite may be present in the profiles of the latter soils but this element becomes more abundant in the gleysols and fluvisols of the valley bottoms, under the influence of silica inputs chiefly linked to the flow of ground water.

Thus Lakeba seems close to a climatic limit between the truly ferrallitic environment, observed in regions such as the Medrausutu Range of southern Viti Levu and northern Taveuni, and a drier environment generating bisiallitic soils such as are found on the western coast of New Caledonia.

Nevertheless, present-day pedogenesis cannot explain all the pedological forms observed. Compared with this environment, which is only slightly ferrallitic, the bauxitic plateaux appear to be relicts of an older and much more dynamic pedogenesis (LATHAM, 1977). These very mature soils, which compare with the most mature soils found in the archipelago, are characteristic of hot and perhumid climates. In the geomorphological discussion above we suggested that they developed from very deep allitic soils. The fact that they are now strictly confined to these plateaux and that their allitic profile is underlain with

cambisols. De la montmorillonite peut alors apparaître dans les profils (eutric et humic cambisols). Cette montmorillonite devient plus abondante dans les fonds de vallée dans les gleysols et les fluvisols, sous l'influence des apports de silice liées aux eaux de nappe en particulier.

Ainsi Lakéba, apparaît à une limite climatique entre le domaine franchement ferrallitique tel que l'on peut l'observer dans certains secteurs du Sud de Viti Levu (les Mendrausutu ranges) ou du Nord de Taveuni et un domaine plus sec générateur de sols à tendance bisiallitique tel que l'on peut le mettre en évidence sur la côte ouest de la Nouvelle-Calédonie.

La pédogénèse actuelle n'explique pas, malgré tout, toutes les formes pédologiques observées. Face à ce milieu faiblement ferrallitique, les plateaux bauxitiques apparaissent comme des témoins d'une pédogénèse ancienne beaucoup plus agressive (LATHAM 1977). Ces sols, peu évolués, comparables aux plus évolués de l'archipel, sont caractéristiques de climats chauds et perhumides. Nous avons évoqué dans le paragraphe géomorphologique leur mise en place à partir de sols allitiques très profonds. Leur délimitation actuelle très stricte à ces zones de plateau et la présence à la base du profil allitique de lignes de galets peu altérées sont des indications supplémentaires de leur caractère de relique dans ce milieu.

Les héritages paléoclimatiques ne se limitent pas toutefois à ces sols bauxitiques. Le caractère tronqué des sols de collines est aussi probablement un caractère hérité. Sur ces collines nous avons ainsi pu distinguer deux phases principales d'érosion :
— une phase ancienne à laquelle correspondent les ferralic cambisols,
— et une phase récente, plus incisive que la précédente à laquelle correspondent les eutric et humic cambisols. Pour ces derniers sols en particulier, les actions de l'érosion par un rajeunissement du sol et d'un pédoclimat plus sec se sont probablement conjuguées pour favoriser la formation de sols peu profonds riches en argiles montmorillonitiques.

A ces phases d'érosion il faut associer les phases de dépôt dans les vallées ; dépôt des colluvio-alluvions sur lesquelles se sont développés les chromic luvisols et dépôt des alluvions récentes sur lesquelles se sont formés les fluvisols, les gleysols, les histosols et les rendzinas.

La géomorphologie apparaît ainsi comme l'un des facteurs premiers de la pédogénèse sur Lakéba.

La végétation est aussi sur Lakéba un facteur pédogénétique non négligeable. Elle agit sur le sol par le couvert qu'elle oppose aux précipitations évitant par là un trop fort ruissellement et par la quantité de matière organique qu'elle fournit.

Lakéba est d'une façon générale peu couvert par la végétation. BAYLISS-SMITH 1977 a montré que dans la région de Yadrana, dont le bassin versant est couvert à 71 % par une végétation herbacée ouverte de type talasiga, 34 % de l'eau de précipitations avait été éliminée dans les six heures qui ont suivi un fort orage. Ce chiffre est particulièrement élevé si l'on considère qu'en forêt tropicale, sur une pente de 23 %, ROOSE (1975) admet que le taux de ruissellement moyen n'est que de 0,7 %. La végétation de type talasiga favorise donc le ruissellement et l'érosion quand le couvert forestier favoriserait plutôt l'altération.

Dans les sols très profondément altérés de collines, la fertilité est par ailleurs concentrée dans l'horizon humifère. Ceci est particulièrement net pour les acric et les humic ferralsols. Les défrichements s'accompagnent donc d'une baisse de fertilité notable du sol.

Ainsi si la nature des sols à Lakeba est orienté par le climat et accessoirement par la roche mère, les héritages géomorphologiques et à un moindre degré la couverture végétale sont les principaux facteurs de différenciation des sols.

layers of little weathered rock fragments is further evidence of their relict status in this environment.

Moreover, paleo-climatic evidence is not restricted to the bauxitic soils : the truncation of hillslope soils is probably a survival too. On these hills we distinguished two main phases of erosion :
— an older phase producing the ferralic cambisols,
— and a more recent phase of greater incision which corresponds to the eutric and humic cambisols. For these soils in particular, the effects of erosion in rejuvenating the soil and the effects of a dryer pedoclimate probably united to favour the formation of shallow soils rich in montmorillonitic clays.

These erosive phases should be associated with the deposition phases in the valleys : colluvio alluvial deposits on which the chromic luvisols developed and recent alluvial deposits giving rise to the fluvisols, gleysols, histosols and rendzinas.

Thus the geomorphology of Lakeba seems to be one of the most important pedogenetic factors.

Another significant factor is the vegetation, which influences the soil by protecting it from the rains, thus preventing excessive runoff, and by supplying it with organic matter.

Most of Lakeba has sparse vegetation. Bayliss-Smith (1977) has shown that in the Yadrana catchment, 71 % of which is covered by open herbaceous vegetation of the talasiga type, 34 % of the rainfall had been discharged by the sixth hour of a heavy storm. This is a particularly high rate of runoff, especially when compared with the finding of ROOSE (1975) that, on a 23 % slope under tropical rain forest, the mean runoff rate was only 0.7 %. Talasiga vegetation therefore favours both runoff and erosion while forest cover tends to promote weathering.

In the deeply weathered hill soils, fertility is concentrated in the humiferous horizon. This is particularly apparent for the acric and humic ferralsols, and removal of vegetation is inevitably followed by a significant decline in fertility.

In short, although the soils of Lakeba are influenced by the climate and indirectly by the parent rock, the main factors in soil differentiation are geomorphological factors and, to a lesser extent, the plant cover.

The distribution of soils

The distribution of soils corresponds closely with the landforms. Soils of ferrallitic evolution occupy the hills, plateaux and moderate slopes (Figs. 6 and 7). They correspond with the oldest landforms and their present distribution is governed by their topographic position. By contrast, soils of fersiallitic evolution are encountered on recent incisions and in colluvio-alluvial zones. Their profile displays a certain maturity through the beginning of rubefaction or clay movements. Lastly, the recent plains contain deposits or accumulations of immature or hydromorphic soils such as fluvisols, gleysols, histosols and rendzinas, whose profiles lack real differentiation except for hydromorphic gley or pseudo-gley horizons.

The soils of Lakeba thus appear to be relatively varied (Table 10) and represent the outcome of long and ancient pedogenesis and a succession of geomorphological developments. Their wide variations in fertility make for considerable diversity of natural vegetation and agricultural potential.

La répartition des sols

La répartition des sols sur Lakéba apparaît ainsi très lié aux formations géomorphologiques. Les sols, à évolution ferrallitique, occupent les reliefs, plateaux, et versants à pente modérée (fig. 6 et 7). Ils correspondent aux surfaces géomorphologiques les plus anciennes et leur répartition est liée à leur position topographique. Par opposition, sur les incisions récentes et sur les zones colluvio-alluviales se sont développés des sols à évolution fersiallitique. Ces sols présentent un certain degré d'évolution dans leur profil : début de rubéfaction ou lessivage en argile. Enfin, dans les plaines récentes se sont déposés ou accumulés des sols peu évolués ou hydromorphes : fluvisols, gleysols, histosols, rendzinas qui ne présentent pas de véritables éléments de différenciations dans leur profil hormis la présence d'horizons hydromorphes à gley ou à pseudogley.

Les sols de Lakéba apparaissent donc comme relativement diversifiés (tabl. 10). Ils sont le résultat de longues pédogénèses anciennes et de diverses reprises géomorphologiques. Ils forment une entité au caractère de fertilité très varié ce qui permet une assez grande diversité du milieu végétal et des possibilités culturales.

Tableau 10. — Répartition des sols de Lakéba

Table 10. — Distribution of the soils of Lakeba

Sol *Soil*	Surface en ha. *Area in ha*	% par rapport au total *Percentage of total*
Histosols	8.7	0.2
Lithosols	—	—
Lithosols + Rhodic Ferralsols	260.3	4.2
Thionic Fluvisols (Mangroves)	532.3	8.6
Eutric Fluvisols	647.1	10.5
Humic Gleysols	186.4	3.0
Rendzinas	374.1	6.0
Humic Ferralsols	70.7	1.1
Acric Ferralsols	264.8	4.3
Rhodic Ferralsols	204.4	3.3
Chromic Luvisols	851.5	13.8
Eutric Cambisols (Forêt/*Forest*)	332.9	5.4
Ferralic Cambisols	2167.0	35.1
Eutric Cambisols (Roseaux/*Reeds*)	277.4	4.5
TOTAL	6177.5	100

*Comprend les mangroves/*Includes mangroves*

5 - POTENTIEL ACROLOGIQUE ET APTITUDES CULTURALES

Les ressources terrestres potentielles de Lakéba sont principalement liées à l'agriculture. A l'heure actuelle l'utilisation des sols se fait dans trois directions privilégiées : la production de coprah, les cultures de subsistance et les plantations forestières (BAYLISS-SMITH 1977, M. BROOKFIELD 1977). Cette utilisation approche toutefois de ses limites en ce qui concerne le coprah et les cultures, en raison du manque de terres de bonne qualité et des techniques culturales extensives employées. Il est donc nécessaire de repenser l'utilisation des terres en fonction de leur

5 - AGROLOGICAL POTENTIAL AND SUITABILITY FOR CULTIVATION

Lakeba's potential land resources are mainly related to agriculture. At the present time the soils are essentially used for copra production, subsistence crops and forestry (BAYLISS-SMITH 1977, M. BROOKFIELD 1977), but the production of copra and food crops have almost reached their limits because of the shortage of good land and the extensive farming techniques employed. It is therefore necessary to reconsider land use in relation to its agrological quality and the foreseeable future development of the archipelago.

qualité agrologique et du développement prévisible de l'archipel dans les années à venir.

5.1 - Des terres de qualité agrologique très diverses

L'évaluation agrologique des terres correspond à l'évaluation de leurs qualités en tant que terres cultivables. Elle devra tenir compte de la fertilité du sol ou contrainte édaphique, des risques d'érosion ou d'alluvionnement ou contraintes morphodynamiques et des possibilités d'aménagement ou contraintes techniques.

5.1.1 - Les contraintes édaphiques

Les contraintes édaphiques du sol pour les plantes sont liées aux possibilités :
— d'exploration du sol par les racines
— d'alimentation hydrique et minérale des végétaux dans les horizons prospectés.

Possibilités d'exploration du sol par les racines

Les sols de Lakéba présentent des profondeurs très variables ; il y a des sols profonds (fluvisols, acric ferralsols), des sols peu profonds (cambisols) et des sols squelettiques (lithosols). Sur cette île, les sols peu profonds de pente dominent (tableau 10). Cela n'empêche pas certaines plantes pérennes de s'y installer comme c'est le cas des arbres des forêts naturelles établies sur humic cambisols. Les racines pénètrent

5.1 - Land of highly varied agrological quality

The agrological evaluation of land corresponds to the assessment of its qualities for agricultural purposes. It must consider the fertility of the soil (edaphic constraints), the risks of erosion or aggradation (morphodynamic constraints) and development potential (technical constraints).

5.1.1 - Edaphic constraints

Where plant life is concerned, the edaphic constraints depend on :
— the possibility of soil penetration by roots,
— the availability of water and minerals for plants in the horizons explored.

The possibility of soil penetration by roots

The soil of Lakeba are of very varying depth, with deep soils (fluvisols, acric ferralsols), shallow soils (cambisols) and ultra-shallow soils (lithosols), but the shallow soils of the slopes predominate (Table II). This does not prevent certain perennial plants from gaining a foothold as, for instance, in the case of the trees of the natural forest established on humic cambisols, whose roots penetrate the weathering horizon between the blocks of weathered rocks.

Penetration, however, is difficult when a relatively unbroken solid obstacle exists in the profile. This is true of ferralic cambisols, in which the loose humiferous horizon is clearly differentiated from the more compact weathering horizon.

Tableau 11. — Contraintes édaphiques des sols de Lakéba
Table 11. — Edaphic constraints of soils of Lakeba

	Acric ferralsols	Humic ferralsols	Ferralic cambisols	Chromic luvisols	Eutric fluvisols	Rendzinas	Histosols	Humic gleysols	Eutric cambisols	Humic cambisols
Végétation naturelle *Natural vegetation*	Talasiga.	Forêt *Forest*	Talasiga	Talasiga	Cocoteraie *Coconuts*	Cocoteraie *Coconuts*	Prairie *Grassland*	Prairie *Grassland*	Roseaux *Reeds*	Forêt *Forest*
Profondeur moyenne utile en cm : ***Average usable depth** in cm :*	> 100	40-60	20-40	> 100	> 100	> 100	hydro-morphe *hydromorphic*	hydro-morphe	30-40	30-40
Réserve hydrique en mm ***Water retention capacity** in mm*	80-95	120-140	50-70	120	140-160	nappe *water table*	nappe *water table*	nappe *water table*	110	140
Caractéristiques physico-chimiques (Horizon A_1) ***Physico-chemical characteristics***										
Texture	SL	A	SL	L	AL	S	A	A	A	A
Instabilité structurale/ *Structural instability*	0,3	—	0,6	0,6	0,1	0,4	—	—	0,4	0,4
Densité apparente/*Bulk density*	0,65	—	0,70	0,87	0,83	0,86	0,52	0,82	0,80	
Carbone %/*Carbon %*	3,0	4,3	3,3	2,9	5,7	8,3	13,5	12,7	2,8	6,0
Azote %/*Nitrogen %*	6,15	0,3	0,18	0,14	0,42	0,68	0,13	0,35	0,21	0,51
pH	5,3	5,6	4,9	5,3	6,5	7,1	4,4	5,6	5,8	6,0
Ca^{++} éch. en mé/100 g	2,2	6,1	2,2	2,5	24,4	—	14,1	19,6	10,5	9,4
K^{+} éch. en mé/100 g	0,3	0,2	0,55	0,4	0,3	0,50	0,18	0,64	0,76	0,33
C.E.C. en mé/100 g	30,7	27,6	22,4	26,0	45,0	—	50	50	29,2	23,7
Taux de saturation %/ *Base saturation*	16	48,9	29,1	40,4	73	—	50	50	76	75
Phosphore total °/$_{oo}$ *Total phosphorus*	1,4	0,20	1,4	2,1	2,4	1,8	1,2	1,3	2,1	0,7
Activité biologique/ ***Biological activity*** en mg de CO_2/m^2/heure *(rainy season)*	20-40	—	15-80	35	184	120	240	235	108	138

alors dans l'horizon d'altération entre ces blocs de roche altérée.

Cette pénétration est toutefois rendue difficile lorsqu'existe un obstacle mécanique relativement continu dans le profil. C'est le cas des ferrallic cambisols qui présentent une différence de compacité très nette entre l'horizon humifère meuble et l'horizon d'altération plus compact. On n'observe que très peu de racines dans cet horizon d'altération, pourtant relativement friable. Les *Pinus caribaea* plantés semblent toutefois pouvoir pénétrer cet horizon avec leurs racines. Cet obstacle n'est donc qu'un obstacle relatif.

Les déficiences de drainage forment par ailleurs une barrière très stricte à la pénétration racinaire pour les plantes non adaptées. Dans les zones marécageuses, une sélection floristique assez rigoureuse apparaît et seules les plantes adaptées à ces milieux hydromorphes peuvent s'y développer normalement.

Possibilités d'alimentation hydrique des plantes

Les possibilités d'alimentation hydrique des plantes dépendent de la capacité de stockage de l'eau de pluie par le sol et de l'alimentation du sol par une nappe ou des eaux de concentration.

Comme l'indique le Tableau 11, les possibilités de rétention du sol pour l'eau sont très variables sur Lakéba. Elles sont comprises entre 50 et 70 mm pour les ferrallic cambisols et 140 et 160 mm pour les eutric fluvisols. Ainsi, les sols à faible capacité de rétention pour l'eau, seraient plus rapidement secs que les autres. Sachant que l'évapotranspiration potentielle est au moins égale à 100 mm/mois à Lakéba, nombreux seront les sols qui présenteront des signes de sècheresse après un mois sans pluie. Nous avons vu, au cours de l'étude du climat, que la saison sèche pouvait assez souvent s'étendre sur 3 à 4 mois. Ceci signifie une limitation au point de vue alimentation hydrique des plantes pour la majorité des sols de l'île. Les « Talasiga soils » sont à ce sujet les premiers sols touchés par la sécheresse.

Cette faible possibilité de rétention du sol pour l'eau peut parfois être compensée, en position topographique favorable, par des apports d'eau de nappe. Il est remarquable de constater la concentration des forêts dans les fonds de talweg et dans les zones basses. L'influence de ces apports d'eau de nappe joue principalement sur les plantes pérennes, à enracinement profond. Elle est bien moins nette pour les cultures annuelles qui n'ont pas le temps de prospecter le sol en profondeur.

Les contraintes, au point de vue alimentation hydrique, sont donc importantes sur Lakéba. Elles peuvent être particulièrement sévères pour les zones couvertes d'une végétation à Talasiga ou à roseaux, mais elles ne sont pas à négliger dans les autres secteurs pour des cultures annuelles à faible enracinement. Il sera donc nécessaire d'en tenir compte pour le choix des cultures et pour l'établissement des calendriers culturaux.

Possibilités d'alimentation minérale des plantes

L'alimentation minérale des plantes est liée à un certain nombre de caractéristiques physiques et chimiques, souvent interdépendantes, et qui représentent en fait la fertilité du sol. Les principaux facteurs entrant dans le calcul de cette fertilité (texture, instabilité structurale, carbone, azote, pH, calcium et potassium échangeable, capacité d'échange, taux de saturation et réserves en phosphore) sont analysés en ce qui concerne l'horizon humifère dans le tableau 11.

D'une façon générale nous avons pu mettre en évidence la liaison étroite existant entre le couvert végétal et les teneurs en matière organique et en éléments nutritifs majeurs du sol. Les sols sous végétation de Talasiga (acric ferralsols, rhodic ferralsols, ferralic cambisols et chromic luvisols) sont pauvres à très pauvres en matière organique, du fait des feux répétés auquel la

Even though the latter is relatively friable, very few roots are found in it, but the roots of planted Pinus Caribaea *seem capable of penetrating this horizon. It is therefore only a relative obstacle.*

Poor drainage is a very effective barrier to the roots of all unadapted plants. The swamps produce a rigorous floristic selection, allowing only adapted plants to develop normally in these hydromorphic environments.

Availability of water for plant life

This depends on the rainwater storage capacity of the soil and the presence of pockets of water or a water table.

As Table II shows, soil water-retention varies greatly on Lakeba. The range is from 50 - 70 mm in the ferralic cambisols to 140 - 160 mm in the eutric fluvisols. Thus soils of low water-retention capacity dry out more quickly than the others. Given that the evapo-transpiration potential on Lakeba is at least 100 mm/month, many of the soils will show signs of dryness after a month without rain and, as we saw in the discussion of climate, the dry season can often last three or four months. This implies limitations in the availability of water for plants in most of the island's soils. The talasiga soils are the first to be affected by drought.

The soil's low water-retention capacity may, in favourable topographic situations, be compensated by supplies from the water table. The concentration of forest in the valley bottoms and in the lowlands is remarkable. The water table chiefly affects the growth of deep-rooted perennial plants, but its influence is much less apparent in the case of annual crops which do not have time to explore the soil deep down.

On Lakeba therefore, the constraints relating to water supply are severe, and can be particularly so for the zones covered with a talasiga vegetation or reeds, while they should not be discounted in other areas where shallow-rooted annual crops are grown. This factor will have to be taken into consideration for the choice of crops and the working out of cropping schedules.

Availability of mineral nutrients

Nutrient availability for plants is related to a number of often interdependent physical and chemical characteristics of the soil which, in fact, define its fertility. The main factors used in calculating fertility (texture, structural instability, carbon, nitrogen, pH, exchangeable calcium and potassium, cation exchange capacity, base saturation and phosphorus reserves) are analysed for the humiferous horizons in Table 11.

Generally speaking, our research brought out a close correlation between plant cover and the amounts of organic matter and major nutrients in the soil. Soils under talasiga (acric, ferralsols, rhodic ferralsols, ferralic cambisols and chromic luvisols) are poor to very poor in organic matter because their covering vegetation is repeatedly burned. They are also deficient in nitrogen, potassium and phosphorus. Their low mineral fertility is well summed up by the rather low index of biological activity (emission of CO_2 per square metre per hour, measured by the method of BACHELIER *(1968), generally less than 50 mg/m2/hour, whereas the index for soils under forest (humic cambisols, eutric fluvisols and humic gleysols) shows a much higher level of mineral fertility : under the same conditions CO_2 emissions well over 100 mg/m2/hour were measured.*

Soil deficiencies, assessed on the basis of analytical data, are less evident. The only major deficiency of Lakeba soils appears to be in nitrogen, but potassium levels also seem rather low especially when it is considered that root crops, widely grown on this island, are large consumers of this element. Total phosphorous reserves are generally fairly high but assimilability is uncertain. No other major mineral deficiency has been noted,

végétation qui les couvre est soumise. Ils sont par ailleurs déficients en azote, en potasse et en phosphore. Cette faible fertilité minérale est bien exprimée par des taux d'activité biologique (dégagement de CO_2/m_2/heure mesuré par la méthode BACHELIER 1968) relativement réduits et généralement inférieurs à 50 mg/m2/heure. Par contre, les sols couverts d'une végétation de type forestier (humic cambisols, eutric fluvisols et humic gleysols) présentent un taux de fertilité minérale nettement plus élevée. On a pu mesurer, dans les mêmes conditions, des dégagements de CO_2 nettement supérieurs à 100 mg/m2/heure.

L'étude des carences, à partir des données analytiques du sol, apparaît par ailleurs peu concluante. Il n'existe apparemment pas de carences majeures dans les sols de Lakéba à l'exception des carences azotées. Les teneurs en potasse de ces sols semblent toutefois plutôt faibles, d'autant que les cultures à racines qui sont très largement pratiquées sur cette île sont particulièrement friandes de cet élément. Les réserves en phosphore total apparaissent assez élevées d'une façon générale. L'assimilabilité de ce phosphore serait toutefois un point à vérifier. Aucune autre déficience minérale majeure n'a été signalée. Cependant, selon nos informateurs, l'I.R.H.O.* aurait testé avec succès un apport d'oligoéléments sur les cocotiers. Les problèmes de carence qui apparaissent peu importants à première vue mériteraient toutefois une étude plus fine par des expérimentations en serre et au champ.

En conclusion, les sols de Lakéba présentent une gamme de fertilité assez large, bien exprimée par des taux d'activité biologique très divers. Les sols les plus fertiles sont les sols des plaines alluviales et côtières, les sols des zones marécageuses et les sols sur forte pente sous forêt. Ces sols présentent une déficience générale en azote et aussi en potasse. Ce sont aussi les sols qui sont les moins sensibles à la sécheresse. Les « Talasiga soils » et principalement les ferralic cambisols et les acric ferralsols qui couvrent près de 40 % de la surface de l'île, ont par contre une fertilité minérale très faible, déjà soulignée par TWYFORD et WRIGHT (1965).

5.1.2 - Les contraintes morphodynamiques

L'érosion

Nous avons pu mettre en évidence, au cours de cette étude, des taux d'érosion très élevés sur Lakéba tant sous végétation de Talasiga que sous végétation forestière. Les taux d'érosion très élevés observés sous végétation forestière sont principalement dus à l'extension des cultures itinérantes après défrichement de la forêt sur de très fortes pentes. Les sols les plus sensibles, à ce sujet, sont les humic et les eutric cambisols. Ceci explique les longues jachères utilisées traditionnellement dans ces secteurs. Une demande de terre accrue sur ces pentes risque donc de rompre rapidement cet équilibre et d'amener une dégradation accélérée des sols.

La pente n'est pas toutefois le seul facteur de l'érosion. La structure du sol et sa résistance à l'arrachement par le ruissellement sont des agents tout aussi importants. A ce sujet les ferralic cambisols et les chromic luvisols sont particulièrement sensibles à l'érosion. Nous avons pu noter des incisions très rapides dans les chromic luvisols sur colluvio-alluvions, en position de pente relativement faible. Ceci tient sur ces sols à un ruissellement important et un taux d'instabilité élevé (Tabl. 11). Ces phénomènes d'érosion sont amplifiés par les travaux mécaniques du sol. La simple ouverture des routes forestières sur les collines s'est accompagnée de très forts transports de terre. De même, le fossé de drainage de l'aérodrome s'est creusé très profondément en quelques années. Il atteint par endroits

* I.R.H.O. Institut de Recherche des Huiles et Oléagineux.

though our informants said that the Institut de Recherche des Huiles et Oléagineux (IRHO) had found that the addition of micro-nutrients had a beneficial effect on coconut production. Problems of deficiency, apparently minor at first sight, should be studied in greater detail by means of experiments under glass and in the field.

In conclusion, the fertility of Lakeba soils varies considerably and this comes out well in the very different rates of biological activity. The most fertile soils are in the alluvial and coastal plains, in the swamps and on steep slopes under forest ; though generally deficient in nitrogen and potassium, these soils are the least liable to drought. On the other hand, the talasiga soils, especially the ferralic cambisols and acric ferralsols which cover nearly 40 % of the island, have an extremely low mineral fertility, as TWYFORD and WRIGHT (1965) have already pointed out.

5.1.2 - Morphodynamic constraints

Erosion

We have already shown that erosion rates on Lakeba are very high under both forest and talasiga vegetation. The very high rates observed in forested areas are mainly due to the extension of shifting cultivation after forest clearance on very steep slopes, the most vulnerable soils in this respect being the humic and eutric cambisols. This explains the long fallow periods traditionally used in these areas, but a growing demand for land on these slopes might well soon upset this balance and speed up the degradation of these soils.

The slope, however, is not the only cause of erosion. Soil structure and its resistance to stripping by runoff are just as important. Here the ferralic cambisols and chromic luvisols are particularly liable to erosion and the rapid gullying of chromic luvisols on colluvio-alluvial deposits was observed on relatively gentle slopes. This was due to heavy runoff as well as a high level of instability (Table 11).

Erosion is increased by the use of machinery : the mere fact of opening up forestry roads in the hills has carried away a great deal of soil and the drainage ditches of the airstrip have been deepened enormously, to 5 metres in some places, in the space of a few years. In this case, erosion is chiefly due to structural instability.

Thus plant cover, slope and resistance to stripping are the main causes of erosion on Lakeba. The most vulnerable soils are the cambisols and chromic luvisols.

Deposition

Flooding may occur during very heavy rains, chiefly in conjunction with cyclonic depressions. We noted the amount and speed of silting in the swamps. However, as Lakeba is a small island the impact of flooding is more apparent in the destruction of certain taro plots than in any rapid changes in the morphology of the plains. It is probable, however, that sheet erosion is leaving deposits in the valleys not only in swampy areas but also on the colluvio-alluvial terraces. In consequence, material is probably shifting slowly towards the valley bottoms.

In the swamps, deposition usually derives from forested areas and therefore, being humiferous and fertile, tends to increase fertility. But it is quite a different matter where the colluvio-alluvial terraces are concerned as they are located at the foot of hills covered with very poor talasiga soils. Deposits from these soils will therefore be poor and tend to reduce the fertility of the terraces.

In short, deposition as a result of erosion can be beneficial in certain very limited areas at the foot of forested hills but usually has an adverse effect on the fertility of valley soils.

actuellement près de 5 m de profondeur. L'instabilité structurale est dans ce cas l'agent principal de l'érosion.

Ainsi le couvert végétal, la pente et la résistance à l'arrachement sont les facteurs principaux de l'érosion à Lakéba. Les sols les plus sensibles à ce sujet sont les cambisols et les chromic luvisols.

Les apports

Les inondations peuvent apparaître au cours des très fortes pluies qui accompagnent les dépressions cycloniques principalement. Nous avons observé l'importance et la rapidité des dépôts terrigènes dans les zones marécageuses. Lakéba est toutefois une petite île et l'action de ces inondations apparaît plus dans la destruction de certaines tarodières que dans des modifications rapides de la morphologie de la plaine. Il est probable cependant, qu'au niveau des vallées, on assiste à des dépôts à la suite d'érosion en nappe non seulement au sein des zones marécageuses mais encore sur les terrasses colluvio-alluviales. Il y a ainsi probablement une migration lente des éléments vers les fonds des vallées.

Dans les zones marécageuses, les éléments apportés proviennent le plus souvent de secteurs forestés et sont donc humifères et fertiles. Ils ne font alors qu'accroître la fertilité du sol. Il en va tout différemment sur les terrasses colluvio-alluviales. Ces terrasses sont situées au pied de collines couvertes de sols très pauvres ou « Talasiga soils ». La constitution des sédiments apportés sera donc elle-même relativement pauvre et ces apports auront un effet plutôt dépressif sur la fertilité des sols de ces terrasses.

Ainsi les apports de terre dus à l'érosion, qui peuvent être bénéfiques dans certains secteurs très limités à la base des zones forestées, ont plus généralement un effet néfaste sur la fertilité des sols des vallées.

L'action de la mer

Au cours des grandes marées, en période de cyclone, l'action de la mer peut modifier la ligne de rivage ou même la morphologie de la plaine côtière comme cela a été indiqué par ailleurs. Les sols les plus sensibles à ce sujet sont les rendzines de la côte nord ouest qui ne sont pas protégés par la mangrove. On peut ainsi avoir soit une modification de la ligne de rivage, soit une modification de la surface de la plaine côtière au cours des grands cyclones.

Les contraintes morphodynamiques sont donc importantes sur Lakéba. L'érosion est très nettement la contrainte la plus forte sur cette île. Elle agit en dégradant les sols sur les pentes et en provoquant le plus souvent des apports de matériaux peu fertiles dans les vallées. La mer peut aussi avoir un effet non négligeable dans certains secteurs de la plaine côtière peu protégés.

5.1.3 - Les contraintes techniques et les possibilités d'aménagement

Certaines de ces contraintes liées au milieu naturel peuvent toutefois être minimisées par le développement de techniques appropriées. Ces techniques auront pour but de limiter l'érosion, d'approfondir et d'ameublir les terres pour une meilleure pénétration racinaire, d'augmenter la richesse minérale du sol par des apports d'éléments fertilisants et de drainer les zones hydromorphes.

Protection contre l'érosion

La protection contre l'érosion pourra porter sur trois facteurs maîtrisables par l'homme : le couvert végétal, la longueur de la pente dénudée et la structure du sol. Le couvert végétal est l'un des facteurs principaux de l'érosion. Dans la mesure du possible, les sols de pente devraient rester couverts soit par la

The effect of the sea

The high tides accompanying cyclones may alter the shore line or even, as is noted elsewhere, the morphology of the coastal plain. In this respect, the most vulnerable soils are the rendzinas on the north-western coast, which are not protected by mangroves. Major hurricanes may thus effect changes in the shore line or in the surface of the coastal plain.

On Lakeba, morphodynamic constraints play an important role. Erosion, in fact, is clearly the most serious constraint, degrading the hillslope soils and depositing material of generally low fertility in the valleys, but the sea can also have a significant impact on certain almost unprotected parts of the coastal plain.

5.1.3 - Technical constraints and development potential

Some of the foregoing constraints related to the natural environment may, however, be reduced by the development of appropriate techniques aimed at limiting erosion, improving the depth and texture of the soil for better root penetration, enriching mineral content by fertilization and draining hydromorphic zones.

Protection against erosion

Protection against erosion could be provided by three factors over which man could exert control : plant cover, the length of uncovered slopes and the structure of the soil. Plant cover is one of the main factors in erosion. The soils on slopes should, so far as possible, remain covered either by the natural vegetation or by perennial crops. At all events, the soil should be left uncovered for as short a time as possible. From this point of view, fire prevention is still of capital importance in the struggle against erosion.

The length of slopes is another important factor. Loss of soil might be checked by cultivating the land in narrow strips perpendicular to the line of greatest slope and possibly by the construction of terraces or contour ridges.

Thirdly, the structure of the soil and its resistance to gullying may be reinforced by the addition of organic matter. This would seem particularly necessary for the chromic luvisols in colluvial zones. Moreover, any machinery working these soils should follow the contour.

The working of the soil

At present, Lakeba is worked almost exclusively by hand. A tractor was recently purchased in the village of Nukunuku but, although it is still little used for agricultural purposes, machines for tilling the soil are likely to be employed more extensively in the future on land with gentle slopes. They appear particularly necessary for preparing the land for cereals such as maize, sorghum or rice, or for the sowing of improved pastures essential to the expansion of stock-rearing. Deep ploughing, however, does not appear to be required for the relatively light soils of the coastal plain and valleys. It should be enough to loosen up the soil so that crops may root satisfactorily.

Fertilization

The traditional fallow system employed on Lakeba makes it possible to regenerate soil fertility by spreading out crops over time. The advantage of this system is that it maintains the organic and mineral richness of the soil, but it has its limits when the time of fallow is cut short, and this is increasingly the case in certain places owing to the shortage of cultivable land. As a result, it is becoming necessary to reconsider the problem of crop cycles. For some time, mineral fertilizers have been used on the island at the instigation of the agricultural services, but mainly on small plots, in gardens or in the pine nursery. Extending their use to the majority of crops would increase yields without increasing the area cultivated. In this case,

végétation naturelle soit par des cultures pérennes. Dans tous les cas, le temps de dénudation du sol devra être le plus court possible. Dans cette optique, la lutte contre les feux demeure une arme primordiale contre l'érosion.

La longueur de la pente est aussi un facteur important de l'érosion. Des cultures en bandes étroites perpendiculaires à la ligne de plus grande pente auraient ainsi une chance de limiter les départs de terre, de même peut-être que la construction de terrasse ou de billons en courbe de niveau.

Enfin, la structure du sol et sa résistance à l'arrachement peuvent être augmentées par un enrichissement des terres en matière organique. Ceci serait en particulier nécessaire sur les chromic luvisols des zones colluviales. A noter que sur ces sols toute mécanisation devrait se faire en courbe de niveau.

Les travaux du sol

Les travaux du sol à Lakéba sont actuellement presque exclusivement des travaux manuels. Un tracteur a récemment été acheté dans le village de Nukunuku mais son utilisation en agriculture reste encore très limitée. L'utilisation d'engins de travail du sol devrait toutefois se développer dans les années à venir sur les terrains à faible pente. Elle apparaît en particulier nécessaire à la préparation des terres pour des cultures céréalières comme le maïs, le sorgho ou le riz ou pour l'installation des pâturages artificiels indispensables au développement de l'élevage. Les travaux de labour profond n'apparaissent pas toutefois obligatoires dans les terres relativement légères de la plaine côtière et des vallées. Un ameublissement du sol semble suffisant pour permettre une bonne installation des plantes cultivées.

La fertilisation

Le système de jachère employé traditionnellement à Lakéba permet de régénérer la fertilité du sol en espaçant les cultures dans le temps. Ce système a l'avantage d'entretenir la richesse organique et minérale du sol. Il présente toutefois des limites lorsque le temps de jachère est réduit. Or actuellement, les temps de jachères apparaissent de plus en plus faibles dans certains secteurs du fait du manque de terres cultivables. Il devient donc nécessaire de reconsidérer le problème des cycles culturaux. Des engrais minéraux ont depuis quelque temps été utilisés sur l'île à l'instigation du Service de l'Agriculture. Ils l'ont été principalement sur de petites surfaces, dans des jardins, ou en pépinière pour les *Pinus*. Leur extension à la majorité des cultures permettrait d'augmenter les productions sans augmenter les surfaces. Le maintien du taux de matière organique des sols nécessiterait alors des cultures d'engrais verts. Des tentatives ont d'ailleurs été réalisées, sur l'île dans ce sens, avec des plantations de *Centrosema pubescens* qui en tant que légumineuse présente l'avantage de réenrichir le sol en azote.

Le drainage

Le drainage est aussi une technique couramment utilisée à Lakéba dans les zones marécageuses pour les plantations de taros. Le taro d'eau ne supporte en effet ni la sécheresse ni l'excès d'eau. Ce drainage, bien adapté à la culture manuelle de ces secteurs, pourrait probablement être adapté à la culture semi mécanisée, en particulier en cas d'installation de parcelles de riz irrigué comme cela a été testé à la station expérimentale de Koronivia.

Ainsi un certain nombre d'aménagements techniques permettraient souvent de limiter les contraintes édaphiques et morphologiques. Ils autoriseraient non seulement l'augmentation de la productivité de certaines terres fertiles mais aussi l'installation de cultures continues.

preserving the amount of organic matter in the soil would require the cultivation of green manure. Indeed, there have been attempts to do this on the island by planting Centrosema pubescens *which, as a legume, has the advantage of enriching the nitrogen content of the soil.*

Drainage

Drainage is another technique commonly used in the Lakeba swamps for areas under taro. Irrigated taro can withstand neither drought nor excessive amounts of water. The drainage system, well tuned to the manual cultivation of these areas, could probably be adapted to semi-mechanized methods, particularly for establishing plots of irrigated rice along the lines of trials at the experimental station at Koronivia.

In this way certain technical improvements could, in many cases, limit the edaphic and morphological constraints by permitting not only higher productivity for certain areas of fertile land but also the introduction of continuous cropping.

5.1.4 - The agrological quality of the land

The agrological quality of the land depends on the foregoing constraints and on the possible improvements that would reduce their effect. We established a scale of agrological quality which reflects its production potential allowing for these constraints. Five land classes were recognized on Lakeba (Table (Table 12) :

— Good land without major limitations for cultivation and with a satisfactory level of fertility. Most of this land consists of the eutric fluvisols and humic gleysols of the alluvial and coastal plains. These soils are suitable for mechanized cultivation and could produce high yields.

— Land of moderate agrological value with some limitations that could be reduced by technical improvements. The soils in this category have either a lower natural fertility than the first group (rendzinas, histosols) or a certain liability to erosion (humic ferralsols). They are therefore more difficult to cultivate than the previous group.

— Soils of rather low agrological value, with some major constraints. They are generally susceptible to erosion and some (e.g. the chromic luvisols) may be of low fertility. Nonetheless, these soils could be improved either by the cultivation of perennials in order to reduce erosion or by adding fertilizer and planting green manure to improve fertility. Although difficult to work, there is no doubt that they have an agricultural potential not to be overlooked.

— Soils of very low agrological value. These are the true talasiga soils, with very poor natural fertility and usually serious liability to erosion (ferralic cambisols, rhodic ferralsols). With present techniques, they appear to be suitable only for reafforestation.

— Land of no agrological value, exhibiting from one to several major handicaps for agricultural purposes, and which can only be left in its natural state and protected from fire.

To sum up, Lakeba possesses a wide range of soils with very different agrological qualities. This variety has long enabled farmers to compensate for natural disasters (drought or hurricanes) by cultivating the land in different ecological sites, and it should make possible a balanced development that takes the requirements for both food crops and cash crops into consideration.

5.2 - A moderate potential for agriculture and forestry

The land potential is reflected in fairly extensive possibilities for agriculture and forestry. At present, the three main rural

Table 12. — Evaluation of the agrological quality of Lakeba soils

Soils units	Edaphic limitations	Morphodynamic limitations	Investment required	Agrological value
Eutric Fluvisols	*Possible hydromorphy*	—	*Mechanization and irrigation*	*Good*
Humic Gleysols	*Hydromorphy*	—	*Drainage*	*Good*
Histosols	*Hydromorphy ; low fertility ; high acidity*	—	*Drainage ; addition of large amounts of fertilizer*	*Moderate*
Rendzinas	*Calcareous sandy texture*	*Susceptible to marine erosion*	*Mechanization*	*Moderate*
Humic Ferralsols	*Clayey texture*	*Susceptible to erosion*	*Contour cultivation*	*Moderate*
Chromic Luvisols	*Low fertility*	*Susceptible to erosion*	*Controlled mechanization ; heavy fertilization ; protection from fire*	*Low*
Eutric Cambisols	*Very shallow*	*Very susceptible to erosion*	*Contour cultivation protection against fire*	*Moderate*
Eutric Cambisols (Reeds)	*Very shallow*	*Very susceptible to erosion*	*Contour cultivation protection against fire*	*Low*
Acric Ferralsols	*Very low fertility*	—	*Protection against fire*	*Very low*
Rhodic Ferralsols	*Low fertility*	*Susceptible to erosion*	*Protection against fire*	*Very low*
Ferralic Cambisols	*Very poor chemically*	*Very susceptible to erosion*	*Protection against fire*	*Very low*
Lithosols	*Shallow, low fertility*	*Very susceptible to erosion*	—	*Nil*
Thionic Fluvisols (Mangroves)	*Hydromorphy ; salinity*	—	—	*Nil*

5.1.4 - La valeur agrologique des terres

La valeur agrologique des terres est ainsi le résultat de ces diverses contraintes et des possibilités d'aménagement qui permettent de les limiter. Nous avons établi une échelle de ces valeurs correspondant à leur potentiel de production en fonction des contraintes. Cinq classes ont été reconnues à Lakéba (tableau 12) :

— des sols de bonne valeur agrologique qui ne présentent pas de contraintes majeures à leur mise en culture et qui offrent un niveau de fertilité suffisant. Il s'agit essentiellement des eutric fluvisols et des humic gleysols des plaines alluviales et côtières. Ces sols peuvent être mécanisés et donner des productions agricoles importantes.

— des sols de qualité agrologique moyenne qui présentent un élément de contrainte susceptible d'être limitée par des aménagements techniques. Ces sols ont soit une fertilité naturelle plus faible que les sols précédents (rendzinas, histosols) soit une certaine sensibilité à l'érosion (humic ferralsols). Ils sont ainsi plus difficiles à mettre en valeur que les précédents.

activities are copra production, the cultivation of food crops and forestry but this range is now broadening through the introduction of new crops and the creation of pasture. Indeed, such diversification, together with more intensive cultivation, is necessary to make better use of the island's land potential, though success will depend on the agrological quality of the land and its morphodynamic limitations.

5.2.1 - Need for a more diversified range of crops

M. BROOKFIELD (1978) has shown that the range of crops grown on Lakeba is still rather narrow in spite of the efforts at diversification made by the agricultural extension service, which has been concentrating on certain specific actions such as laying down pastures or extending the range of crops grown in family gardens. But other measures, concerning both annual and perennial crops, are quite feasible. This section considers the main crop groups that could be grown on Lakeba together with their edaphic requirements. Seven major groups have been selected :

Tableau 12. — Valeur agrologique des sols de Lakeba

Unité de sol	Contraintes édaphiques	Contraintes morphodynamiques	Travaux à réaliser	Valeur agrologique
Histosols	- hydromorphie - fertilité médiocre - forte acidité	—	- drainage - fertilisation importante	Moyenne
Lithosols	- manque de profondeur du sol - fertilité très médiocre	- très sensibles à l'érosion	—	Mauvaise
Thionic fluvisols (Mangrove)	- hydromorphie - salinité	—	—	Mauvaise
Eutric fluvisols	- possibilité d'une certaine hydromorphie	—	- possibilités de mécanisation et d'irrigation	Bonne
Humic gleysols	- hydromorphie	—	- drainage	Bonne
Rendzinas	- texture sableuse calcaire	- sensibles aux actions marines	- possibilités de mécanisation	Moyenne
Humic ferralsols	- texture argileuse	- sensibles à l'érosion	- culture en bande ou en billon suivant les courbes de niveau	Moyenne
Acric ferralsols	- fertilité très médiocre	—	- protection contre les feux	Très médiocre
Rhodic ferralsols	- fertilité médiocre	- sensibles à l'érosion	- protection contre les feux	Très médiocre
Chromic luvisols	— fertilité médiocre	- sensibles à l'érosion	- mécanisable avec précaution - protection contre les feux - fertilisation importante	Médiocre
Eutric cambisols (Forêt)	- faible profondeur	- très sensibles à l'érosion	- culture en courbe de niveau et protection contre les feux	Moyenne
Ferralic cambisols	- grande pauvreté chimique	- très sensibles à l'érosion	- protection contre les feux	Très médiocre
Eutric cambisols (Roseaux)	- faible profondeur	- très sensibles à l'érosion	- culture en courbe de niveau et protection contre les feux	Médiocre

— des sols de qualité agrologique médiocre. Ces sols présentent un certain nombre de contraintes majeures. Ils sont généralement sensibles à l'érosion et peuvent être assez pauvres comme c'est le cas des chromic luvisols. On peut toutefois envisager de les aménager, soit en y implantant des cultures pérennes pour limiter l'érosion, soit en améliorant leur fertilité par des apports d'engrais et des cultures d'engrais verts. Ces sols, bien que

— *annual crops suitable for mechanized cultivation*
— *irrigated crops*
— *subsistence crops*
— *less demanding subsistence crops*
— *improved pasture*
— *tree and shrub plantations*
— *forestry plantations.*

difficiles à travailler, possèdent incontestablement un certain potentiel agronomique à ne pas négliger.
— des sols de qualité agrologique très médiocre. Ces sols qui forment les véritables « Talasiga soils » ont une fertilité naturelle très faible et sont le plus souvent très sensibles à l'érosion (ferralic cambisols, rhodic ferralsols). Ils ne semblent pouvoir convenir, dans l'état actuel des techniques, qu'à la reforestation.
- enfin des sols de mauvaises qualités agrologiques. Ces sols montrent un ou plusieurs handicaps majeurs à une utilisation rurale et ne peuvent qu'être conservés en l'état et protégés contre les feux.

Ainsi sur Lakéba existe toute une gamme de sols aux qualités agrologiques très diverses. Cette variété a longtemps permis aux cultivateurs de compenser les catastrophes naturelles (sécheresse ou cyclone) en cultivant dans différents sites écologiques. Elle devrait permettre un aménagement équilibré, tenant compte, non seulement des besoins en cultures vivrières, mais aussi des nécessités d'exportation.

5.2 - Un potentiel agricole et forestier moyen

A ce potentiel en terre correspondent des possibilités agricoles et forestières assez larges. Trois activités rurales principales sont pratiquées actuellement à Lakéba. La production de coprah, les cultures vivrières et les plantations forestières. Cet éventail de production est toutefois en train de s'élargir par le développement de nouvelles cultures et par la création de pâturages. Cette diversification, accompagnée d'une intensification des cultures, est d'ailleurs nécessaire à une meilleure utilisation du potentiel terrestre de l'île. Pour être réussie, elle devra tenir compte des qualités agrologiques des terres et de leurs contraintes morphodynamiques.

5.2.1 - Un éventail de cultures à diversifier

Comme cela est présenté par ailleurs (M. BROOKFIELD 1978), l'éventail des cultures à Lakéba reste assez restreint malgré l'effort de diversification des services agricoles. Cet effort porte sur un certain nombre d'actions ponctuelles comme l'installation de pâturages ou la diversification des productions dans les jardins familiaux. D'autres actions pourraient toutefois être entreprises non seulement dans le domaine des cultures annuelles mais aussi dans celui des cultures pérennes. Dans ce paragraphe, nous envisagerons les principaux groupes de cultures pouvant être implantés à Lakéba et leurs exigences édaphiques. Sept groupes principaux ont été retenus : des cultures annuelles mécanisables, des cultures irriguées, des cultures vivrières, des cultures vivrières peu exigeantes, des pâturages artificiels, des plantations arborées et arbustives, des plantations forestières.

Les cultures annuelles mécanisables

Sous la dénomination de cultures annuelles mécanisables on peut regrouper des cultures autres que les cultures de subsistance. Il s'agit principalement du maïs, du sorgho, du riz sec ou mieux de l'arachide ou du soja. Ces cultures sont peu ou pas pratiquées pour l'instant à Lakéba. Elles demandent des sols assez profonds argilo-sableux à argileux, assez fertiles. Ce sont des cultures facilement mécanisables et pour lesquelles des apports d'engrais réguliers sont nécessaires pour assurer une production convenable. Ces cultures pourraient être installées sur les terres argileuses des plaines alluviales et côtières et peut-être sur les chromic luvisols des zones colluviales après amendements organiques. Ces cultures pourraient permettre le développement d'un petit élevage ou la vente vers Suva. Le

Annual crops suitable for mechanized cultivation

Under this heading may be grouped crops other than subsistence crops, the most important being maize, sorghum, dry rice and especially ground-nuts and soya beans. These crops, almost unknown on Lakeba at present, require fairly deep and fertile sandy-clay to clay soils. They are easy to adapt for mechanized cultivation but need regular supplies of fertilizer for a satisfactory yield. They could be sown on the clay soils of the alluvial and coastal plains and possibly on the chromic luvisols of the colluvial areas once the organic matter content of the soil has been improved. Such crops could allow the development of small-scale stock-breeding or be sold for export to Suva. Cassava could also be cultivated in the same way and used as the basis for a more rational feed for the great many local pigs.

Irrigated crops

The production of irrigated taro is one of the main agricultural activities on Lakeba outside the collection of copra. Taro, planted in the swamps after they have been drained, forms the basis of the local diet. In some places it is cultivated almost continously, the richness of the soil being maintained by crop residue, the burning of weeds and probably slight aggradation when floods occur. Some of the swamps, and especially those located near the coast or the villages, are little used because of the regular intrusion of brackish water during very high tides or because the crops are trampled or destroyed by livestock. Despite everything, the swamps are already intensely cultivated. However, if some land could be made available, irrigated rice could be tried out after drainage, as at the Koronivia experimental station on Viti Levu.

Subsistence crops

The most important of these crops are the food crops such as yams, dry taro, cassava, sweet potato, banana and yaqona (Piper methysticum). *These crops are usually cultivated after forest clearance on moderately deep and fertile soils. They are followed by long periods of fallow which allow the soil to build up its fertility again. They are also grown in association with coconuts on the recent alluvial plains and in certain large pockets amid the limestone. This type of crop requires fairly deep, fertile and moist soils.*

Less demanding subsistence crops

A distinction can be drawn between subsistence crops requiring fertile and moist soils and those which can be grown on much poorer and drier land. The latter include mainly cassava and sweet potato. These root crops are in fact frequently grown on the chromic luvisols of the colluvial areas and on the eutric cambisols of the reed-covered slopes. This is mainly for qualitative reasons as it appears that the cassava and sweet potato grown on these soils taste better than those grown on rich soils, but productivity is lower.

Improved pasture

The upkeep of a small cattle population has recently raised the problem of creating improved pasture under coconuts. For the moment, most of these pastures are laid in the plains and valley bottoms and the cattle are left to graze. However, the flora of these plains appears to be rather poor in fodder, and successful trials have been made with Koronivia grass (Brachiaria humidicola), « *centro* » (Centrosema pubescens) *and* « *stylo* » (Stylosanthes gracilis), *but the systematic creation of pasture has not yet been essayed on Lakeba. Experiments conducted by the IRHO* at Saraoutou in the New Hebrides with the assistance of the South-Pacific Commission (SPC)*

** IRHO : Institut de Recherche des Huiles et Oléagineux.*

manioc est par ailleurs susceptible d'être cultivé de la même façon et servir de base à une alimentation plus rationnelle des porcs qui pullulent sur Lakéba.

Les cultures irriguées

La culture du taro irrigué est l'une des activités agricoles principales de Lakéba, en dehors du ramassage du coprah. Ces taros, plantés dans les zones marécageuses après drainage, fournissent la base de l'alimentation des habitants. Dans certains secteurs la culture se fait de façon presque continue, le réenrichissement du sol venant des résidus de récolte, du brûlis de la végétation adventice et probablement d'un léger alluvionnement lors des crues. Certains de ces marécages, en particulier, ceux situés à proximité de la côte ou des villages, sont toutefois peu utilisés soit du fait de salures périodiques lors de très fortes marées, soit du fait du piètinement et des destructions occasionnées par les animaux. L'utilisation de ces zones marécageuses reste malgré tout déjà très intensive. Toutefois si des surfaces pouvaient être libérées, du riz irrigué pourrait être testé, après drainage des sols comme cela est pratiqué sur la station de Koronivia (Viti Levu).

Les cultures de subsistance

Parmi ces cultures, il faut citer tout d'abord les cultures vivrières, igname, taro sec, manioc, patate douce et banane et le yaqona *(Piper methysticum)*. Ces cultures se pratiquent le plus souvent après défrichement de la forêt, sur des sols, moyennement profonds et fertiles. Elles sont suivies de longues périodes de jachère qui permettent une reconstitution de la fertilité du sol. Elles sont aussi pratiquées, en association avec le cocotier dans les plaines alluviales récentes et dans certaines larges poches de terres au milieu des calcaires. Ce type de culture nécessite donc des sols moyennement profonds, fertiles et frais.

Les cultures de subsistances peu exigeantes

Une distinction peut être faite en ce qui concerne les cultures de subsistance entre les cultures exigeant des sols fertiles et frais et des cultures pouvant pousser sur des sols beaucoup plus pauvres et plus secs. Parmi ces dernières, il faut citer principalement le manioc et la patate douce. Ces plantes à racines sont en effet souvent cultivées sur les chromic luvisols des zones colluviales et sur les eutric cambisols des pentes couvertes de roseaux. Leur intérêt apparaît essentiellement qualitatif, le manioc et les patates douces ayant, paraît-il, un meilleur goût sur ces sols que sur les sols riches. Leur productivité est par contre moindre.

Les pâturages artificiels

L'entretien d'un petit cheptel de bovins a posé le problème récemment de la création de pâturages sous cocotiers. Ces pâturages sont pour l'instant, la plupart du temps, réalisés dans les plaines et les fonds de vallées, et en y laissant paître le bétail. La flore de ces plaines apparaît toutefois assez pauvre en espèces fourragères. Quelques essais d'introduction de Koronivia grass *(Brachiaria humidicola)*, de centro *(Centrosema pubescens)* ou de stylo *(Stylosanthes gracilis)* ont été tentés avec succès. Mais il n'y a pas eu véritablement création de pâturages sur cette île. Or les expérimentations menées par l'I.R.H.O. à Saraoutou aux Nouvelles-Hébrides, avec le concours de la C.P.S.* ont montré l'intérêt de la création de pâturages artificiels sous cocotiers. On note une augmentation considérable de la production d'herbe et une plus grande facilité pour le ramassage du coprah, la création de ce type de pâturage nécessite toutefois un travail du sol et des fertilisations.

Par ailleurs, à l'instar des expériences effectuées à Nausorie

* Commission du Pacifique Sud.

have shown the advantages of creating improved pastures under coconuts : the amount of grass is considerably increased and the copra is easier to collect, but this type of pasture requires ploughing and fertilization.

Elsewhere, along the lines of experiments on the Nausori Highlands on Viti Levu, some areas in forestry plantations have been fenced off for stock-breeding but the shortage of fodder species might cause disappointments. Trial introductions of Koronivia grass (Brachiaria humidicola), *Nadi blue grass* (Dicanthium caricosum) *and stylo* (Stylosanthes gracilis) *have been made on talasiga soils in areas under* Pinus. *These trials need to be extended before cattle are introduced since Lakeba's talasiga soils have no grass flora comparable with that in the Nausori Highlands.*

Tree and shrub plantations

At present, coconuts are by far the most important of the tree and shrub plantations. They cover about 18 % of the island's surface area and are planted on the best drained land (eutric fluvisols and rendzinas). Though the trees are often very old, yields are still high (0.54 t/ha according to the 1977 UNESCO/ UNFPA Report). However, owing to the heterogeneous nature of the groves, the disorderly spacing of the trees which rules out the use of machines to till the soil, and the new possibilities of much higher yields from certain hybrids (IRHO, 1972), the question of replanting has arisen. Here a choice will have to be made between continuing the intensive monoculture of copra and associating coconuts with pasture or with agriculture, since the spacing of the trees and possibly the varieties to be planted will depend on the option selected.

On the subject of Lakeba's trees, mention should be made of breadfruit trees, lemon-trees, papaw trees, mango trees, etc..., which are more for the family garden than for plantation.

Lastly, there may be a question of establishing coffee. Though this crop was virtually abandoned in Fiji after the extensive damage caused by a leaf-rust, Hemeleia vastatrix, *introduced from Ceylon at the beginning of the century (TWYFORD and WRIGHT 1965), Robusta coffee shrubs are hardly affected by this fungus and their introduction would help diversify the cash crops. The most suitable areas for coffee plantations are the alluvial plains and certain slopes with fertile soils.*

Forestry plantations

Over the last decade or so, Pinus caribaea *has been extensively planted on the talasiga soils and a planting programme for nearly 2000 ha is under way. The edaphic requirements of tropical pines are modest and the trees grow very well on these soils. The best growth is achieved on the acric ferralsols and chromic luvisols but results are encouraging even on the ferralic cambisols (Table 13).*

Table 13. — Growth of Pinus caribaea at four years according to soil

Soil	*Mean height in m.*	*Mean ground diameter in cm.*	*Percentage of trees living*
Acric ferralsols	4.2	26.9	75
Chromic luvisols	4.7	27.4	76
Ferralic cambisols	3.5	19.0	76

Measurements were taken of 60 individuals for each soil category but only living trees were considered.

Highlands (Viti Levu), des secteurs de plantation forestière ont été clôturés pour y développer l'élevage. Le manque d'espèces fourragères dans ces secteurs risque d'amener quelques déceptions. Des essais d'implantation de Koronivia grass *(Brachiaria humidicola),* de Nadi blue grass *(Dicanthium caricosum)* et de stylo *(Stylosanthes gracilis)* ont été tentés sur « Talasiga soils » dans des plantations de *Pinus.* Ces essais devraient être étendus, avant l'introduction du bétail. Il n'existe pas en effet à Lakéba une flore graminéenne comparable à celle de Nausorie Highlands sur les « Talasiga soils ».

Les plantations arborées et arbustives

Parmi les plantes arborées et arbustives le cocotier occupe actuellement une position prédominante. Il couvre environ 18 % de la surface de l'île et est planté sur les meilleures terres drainées (eutric fluvisols et rendzinas). Ces cocotiers sont souvent très âgés mais leur productivité reste assez élevée (0,54 t/ha suivant les données du rapport UNESCO/UNFPA 1977). Le problème de la régénération de cette cocoteraie se pose toutefois vu son hétérogénéité, sa plantation désordonnée qui interdit tous travaux mécaniques du sol et les possibilités actuelles de rendement bien supérieur offertes par certains hybrides (I.R.H.O. 1972). Pour cette régénération, un choix devra toutefois être fait entre une monoproduction intensive de coprah et des associations cocotier-pâturages et cocotier-agriculture ; ces deux options ayant des conséquences sur l'espacement et peut-être sur les variétés à replanter.

Parmi les espèces arborées, il faut citer aussi sur Lakéba des individus d'arbres à pain, de citronniers, de papayers, de manguiers, etc. qui relèvent plus du jardin familial que de la plantation.

Enfin, le problème de l'implantation du caféier pourrait aussi se poser. Cette culture a été pratiquement abandonnée aux Fidji après les ravages faits par une rouille *Hemeleia vastatrix* importée de Ceylan au début du siècle (TWYFORD et WRIGHT 1965). Les caféiers Robusta sont toutefois peu sensibles à ce champignon. L'introduction du caféier pourrait amener une diversification parmi les cultures d'exportation. Les secteurs les plus favorables à ces plantations sont les plaines alluviales et certaines pentes, aux sols fertiles.

Les plantations forestières

D'importantes plantations de *Pinus caribaea* ont été réalisées depuis une dizaine d'années sur les « Talasiga soils ». Un programme de près de 2000 ha de plantation est en cours. Les pins tropicaux ont des exigences édaphiques modestes et poussent sur ces sols de façon très satisfaisante. Leur croissance maximum est atteinte sur les acric ferralsols et sur les chromic luvisols ; elle reste toutefois satisfaisante sur les ferralic cambisols (tableau 13).

Tableau 13. — Croissance de *Pinus caribaea* de quatre ans en fonction du sol (mesures effectuées sur 60 individus pour chaque catégorie mais ne tenant compte que des individus vivants).

Sols	Hauteur moyenne en m	Surface terrière moyenne en cm	% de vivants
Acric ferralsols	4,2	26,9	75
Chromic luvisols	4,7	27,4	76
Ferralic cambisols	3,5	19,0	76

L'effet des cyclones apparaît toutefois très néfaste pour ces plantations. Les importants pourcentages d'arbres morts,

However, cyclones appear to have a very harmful effect on these plantations. The high proportion of dead, broken or twisted trees found in this plantation was largely due to Hurricane Val, which struck Lakeba in 1975, but the very satisfactory growth of these pines on extremely poor soil is worthy of note.

In conclusion, it would be easy to diversify the present relatively narrow range of crops on Lakeba. In the last few years efforts have been made in three directions :

— an increase in the number of kitchen gardens and a wider variety of crops,

— the introduction of cattle to graze under the coconuts,

— the development of forestry plantations on the talasiga soils.

This effort should be pursued, with special emphasis on intensifying existing crops, extending the areas under annual crops worked by machines and the pastures, and possibly introducing new crops such as ground-nuts, rice or coffee.

5.2.2 - Fairly extensive land suitability for agriculture and forestry

The suitability of land for crops and forestry was assessed by comparing the agrological qualities of the soil with the various possible uses discussed. The work was based on the FAO proposals (1976), which emphasize the chances of improvement measures being successful and the amount of investment required. The purpose of the map showing land suitability for crops or forestry is to indicate development potential in terms of soil quality.

Four levels of land suitability were recognized :

— Land with very high development potential, on which a given project would have a high chance of success without much investment : for example, the establishment of pasture of field crops on the alluvial and coastal plains would involve no investment other than rapid clearing and planting.

— Land with high development potential : here a moderate investment would give a good chance of success. Two examples may be cited : the establishment of crops on the humic ferralsols with measures to prevent erosion, and cultivation of the chromic luvisols, but only after the soil has been enriched by additions of mineral and organic fertilizer.

— Land with low development potential and on which considerable investment would be required for a marginal return. This is the case with cultivation of the acric ferralsols or tree-planting on the eutric cambisols.

— Land unsuitable for particular kinds of development, either because there would be no chance of success or because the investment needed would be too high and the return marginal. Land unsuitable for any kind of development should be conserved in its natural state and protected from burning or clearing by man.

This classification represents a compromise which is often dependent on empirical observation because few agronomic experiments have been conducted in this region. It takes into account the qualities of the soil, on-the-spot agronomic observations, the state of the natural vegetation and of the environment in general and the known edaphic requirements of the various crops discussed.

5.3 - Conclusion

The land resource potential of Lakeba is relatively large and diverse. Nearly 30 % of the island is capable of agricultural or pastoral development and the diversity of the environment would permit the cultivation of a large variety of crops. However, any expansion of production would need to take

cassés ou tordus observés dans cette plantation sont en très grande partie dus au Cyclone Val qui a atteint Lakéba en 1975. Il faut retenir toutefois la croissance très satisfaisante de ces *Pinus* sur ces sols extrêmement pauvres.

En conclusion l'éventail des cultures qui est relativement restreint pour l'instant à Lakéba pourrait facilement être diversifié. Trois orientations ont été suivies ces dernières années :

— la multiplication des jardins potagers et leur enrichissement en espèces cultivées,

— l'introduction du bétail sous les cocotiers,

— le développement des plantations forestières sur les « Talasiga soils ».

Cet effort devrait être poursuivi en s'attachant notamment à intensifier les cultures déjà existantes, à étendre les cultures annuelles mécanisées et les pâturages et peut-être à introduire de nouvelles cultures comme l'arachide, le riz ou le café.

5.2.2 - Des aptitudes culturales et forestières assez étendues

La détermination des aptitudes culturales et forestières s'est faite en comparant les qualités agrologiques des sols aux diverses possibilités de mise en valeur, énoncées précédemment. Elle s'est inspirée des propositions de la FAO (1976) mettant l'accent sur la chance de succès d'un aménagement et sur les investissements nécessaires à cet aménagement. L'objectif de la carte d'aptitudes culturale et forestière est de présenter les diverses possibilités d'aménagement d'un terrain en fonction des qualités agrologiques du sol.

Quatre niveaux d'aptitude ont été retenus :

— des terrains présentant une très bonne aptitude pour un aménagement donné, c'est-à-dire que cet aménagement a une forte chance de succès sans grand investissement. On peut citer comme exemple l'installation de pâturages ou de cultures dans les plaines alluviales et côtières qui ne nécessitent pas d'autre investissement qu'un défrichement rapide et une mise en culture.

— des terrains présentant une bonne aptitude pour un aménagement. Ces aménagements auront de bonnes chances de succès avec des investissements modérés. Deux exemples peuvent être cités : l'installation de cultures sur les humic ferralsols qui demandera des précautions antiérosives et la mise en culture des chromic luvisols qui ne peut se faire qu'après un enrichissement du sol en éléments minéraux et organiques.

— des terrains ayant une faible aptitude pour un aménagement et sur lesquels cet aménagement nécessiterait des investissements importants pour une rentabilité marginale. C'est le cas des cultures sur acric ferralsols ou des plantations arborées sur eutric cambisols.

— enfin des terrains sur lesquels certains aménagements sont à éliminer soit parce qu'ils n'ont aucune chance de succès soit parce que les investissements seraient trop importants pour une rentabilité marginale. Les terres sur lesquelles aucun aménagement n'est possible sont à conserver sous végétation naturelle et à protéger des dégradations anthropiques (feux, défrichements).

Cette classification est un compromis fondé bien souvent sur des données empiriques vu le petit nombre d'expérimentations agronomiques réalisées dans cette région. Elle tient compte des qualités du sols, des observations agronomiques effectuées sur le terrain, de l'état de la végétation naturelle et de l'environnement en général et des connaissances sur les exigences édaphiques de telle ou telle culture.

account of the serious morphodynamic constraints which weigh upon this environment. Erosion of the slopes and the deposition of infertile colluvium in the valleys are both contributing to degrade it. For this island, therefore, it is essential to develop and intensify cultivation in the valleys and plains, protect the slopes, possibly by means of perennial crops, and continue reafforestation of the talasiga soils. Such a policy of more intense cultivation of the best land, diversification of products and protection against erosion would increase agricultural production and enable the economy to strengthen its resistance to natural disasters arising from drought or hurricane. It would thus reduce the previous dependence on subsistence crops and copra production, which is now reaching its limit.

5.3 - Conclusion

Les ressources potentielles du milieu terrestre de Lakéba apparaissent donc comme relativement importantes et diversifiées. Près de 30 % de la surface de l'île peut faire l'objet d'aménagements agricoles ou pastoraux et la diversité du milieu permet d'envisager un grand nombre de cultures. Tout développement de la production devra cependant tenir compte des contraintes morphodynamiques importantes qui pèsent sur ce milieu. L'érosion sur les pentes, les atterrissements de colluvions dans les vallées sont autant de facteurs de dégradations du milieu. A l'échelle de l'île il apparaît donc indispensable de développer et d'intensifier les cultures dans les vallées et les plaines, de protéger les pentes, éventuellement par l'installation de cultures pérennes et de continuer la reforestation des Talasiga soils. Cette politique d'intensification des cultures sur les meilleures terres, de diversification des productions et de protection du milieu contre l'érosion devrait permettre une augmentation de la production agricole et une plus grande résistance de l'économie face aux catastrophes naturelles que sont la sécheresse ou les cyclones. Elle remplacerait ainsi un équilibre antérieur basé sur les cultures de subsistances et la production du coprah qui atteint actuellement ses limites.

6 - UNE VÉGÉTATION PAUVRE DOMINÉE PAR DES FORMATIONS PYROPHYTES

La végétation de Lakéba apparaît pauvre et relativement monotone au premier abord. Elle est dominée par une formation ouverte très dégradée, nommée localement « Talasiga vegetation ». En fait un examen moins superficiel montre une assez grande diversité de ce milieu. Les formations à Talasiga sont loin d'être homogènes. De plus, on observe des surfaces non négligeables de forêt, de fourrés et de végétations herbeuses. Ces formations s'imbriquent en mosaïques complexes et malgré l'influence du feu, sont une bonne indication des conditions édaphiques du milieu.

6.1 - Les unités végétales

Pour la classification de la végétation nous avons suivi les critères de la classification internationale de la végétation (UNESCO 1973) en subdivisant les unités principales, pour tenir compte de l'échelle réduite de cette étude.

Les déterminations floristiques ont été faites en utilisant l'ouvrage de PARHAM (1972) « Plants of the Fiji Islands ». Une liste des plantes observées et de leur répartition est donnée en annexe (Annexe IV).

Les forêts denses et les plantations de cocotiers

Les forêts denses et les plantations de cocotiers occupent près de 40 % de la surface de l'île. Les cocoteraies ont été associées dans cette classification aux forêts denses car, dans la majorité des cas, elles sont installées aux dépens de formations forestières (forêt de bord de mer ou forêt galerie). Elles ont été individualisées, bien que la classification UNESCO ne tienne pas compte des cultures, du fait de leur extension. Quatre types principaux de forêt ont été distingués : des forêts sempervirentes ombrophiles à *Geissois ternata* dans les talwegs de roches volcaniques, et à *Cyathocalyx insularis, Ficus oblica* et *Litsea pikeringii* sur calcaires, des forêts ombrophiles tropicales marécageuses à

6 - POOR VEGETATION DOMINATED BY PYROPHYTIC FORMATIONS

The initial impression of the vegetation of this island is one of poverty and relative uniformity, dominated by a very degraded open vegetation which local people call « talasiga ». Closer inspection, however, reveals a wide variety of environments : the talasiga formations are far from homogeneous and there are significant areas of forest, thicket and herbaceous vegetation. These formations are intertwined in a complex mosaic and, despite the effects of fire, provide a good indication of edaphic conditions.

6.1 - Vegetation types

The classification of vegetation is based on the criteria of the international classification of vegetation (UNESCO 1973) but, in view of the small size of Lakeba, the main units have been subdivided. Parham's « Plants of the Fiji Islands » (1972) was used for identification and a list of the plants found, together with their distribution, appears in Annex IV.

Closed forest and coconut plantations

Closed forest and coconut plantations occupy nearly 40 % of the surface of the island. They are grouped together because, in most cases, the coconut groves were established in areas formerly under beach forest and gallery forest. Although the UNESCO classification does not take cultivated species into account, an exception is made for these groves because of the large area they cover. Four main types of forest are distinguished : evergreen ombrophilous forest with Geissois ternata *on the thalwegs of volcanic rocks, and with* Cyathocalyx insularis, Ficus oblica *and* Litsea pickeringii *on the limestone, tropical ombrophilous swamp forest with* Inocarpus fagiferus *and* Pandanus odoratissimus, *and mangrove forest with* Rhizophora *sp.*

Inocarpus fagiferus et à *Pandanus odoratissimus* et des forêts de mangrove à Rhizophoracées.

*Les forêts à **Geissoïs ternata***

Les forêts à *Geissoïs ternata* se développent principalement dans le centre de l'île sur les pentes abruptes des talwegs. Elles couvrent environ 6 % de la surface de Lakéba. Elles sont réparties en massifs isolés, principalement dans le centre de l'île. Leur composition floristique apparaît assez pauvre, vingt neuf espèces ont été dénombrées à la suite d'une reconnaissance sommaire. C'est une forêt, de hauteur moyenne, dans laquelle tous les étages de végétation sont représentés. On ne note que peu de grands arbres *(Geissoïs ternata, Cananga odorata, Ficus fulvo-pilosa* en particulier). L'étage moyen est par contre assez abondant *(Cyathea sp., Cerbera manghas, Pandanus odoratissimus).* La strate herbacée est assez riche en fougères *Nephrolepis sp, Culcita straminea, Microsorium scolopendria, Lygodium reticulatum.* On note par ailleurs un grand nombre d'espèces lianescentes *(Entada phaseoloides, Lindsea ensifolia).*

Cette forêt a fait l'objet de nombreux défrichements pour y établir des cultures vivrières *(Colocasia esculenta :* igname, *Cocos nucifera :* cocotiers, *Dioscorea alata :* taro, *Piper methysticum :* yaqona, *Musa nana :* bananier). Ces cultures se font pendant deux à trois ans et les champs sont ensuite abandonnés et très rapidement couverts par des plantes rampantes *(Mikania micrantha* et *Ipomoea gracilis).*

Ces lambeaux de forêt, très secondarisés, subsistent actuellement sur des sols argileux mais souvent peu profonds, en situation humide.

*Les forêts à **Cyathocalyx insularis, Ficus oblica** et **Litsea pikeringii***

Cette forêt dense se développe sur le calcaire à l'Ouest ou au Sud de l'île. Son extension, comme pour les forêts à *Geissoïs ternata* est assez réduite (4 % de la surface de l'île). Sa composition floristique reste assez pauvre bien que probablement beaucoup plus riche qu'elle n'apparaît dans notre liste vu le petit nombre de relevés effectués. Elle est dominée par de grands arbres *(Cyathocalyx insularis, Ficus oblica, Litsea pikeringii).* Elle apparaît particulièrement développée sur les lithosols et les sols peu épais sur calcaires. Dès que l'épaisseur du sol augmente, cettte végétation forestière tend à être remplacée par une végétation ouverte de type talasiga.

Comme la formation précédente cette forêt a, en de nombreux endroits, été défrichée pour y planter, lorsque le sol le permet, des cocotiers et des cultures vivrières.

Le problème du maintien d'une végétation forestière sur ces calcaires reste assez difficile à comprendre car les plantes ne bénéficient pas sur ce milieu d'une alimentation hydrique importante. Il faut envisager, comme pour l'atoll surélevé de Kabara et comme cela a déjà été fait en Nouvelle-Calédonie et aux Iles Loyautés, une alimentation hydrique par capillarité à travers le calcaire (TERCINIER 1971).

*Les forêts marécageuses à **Inocarpus fagiferus** et à **Pandanus odoratissimus***

Ces forêts se développent sur des zones marécageuses en bord de mer. Elles couvrent des surfaces très réduites situées principalement à proximité des villages de Levuka et de Nasaqalau. Elles sont dominées par des arbres *(Inocarpus fagiferus, Barringtonia racemosa, Ficus fulvo-pilosa).* On observe toutefois une strate moyenne assez développée, avec principalement *Pandanus odoratissimus* et *Cerbera manghas.* Ces forêts ayant souvent été défrichées pour des plantations de Taro, le sol est recouvert de fougères *Acrostichum aureum* et de plantes lianescentes *Ipomoea sp.* et *Mikania micrantha.* Ces forêts qui vivent dans des zones engorgées par l'eau douce, sont parfois envahies au cours de fortes marées par de l'eau de mer.

Forest with Geissois ternata

This type of forest has developed mainly in the centre of the island, on the steep slopes of the thalwegs. It covers about 6 % of the land area but is distributed in a series of isolated pockets. The floristic composition is rather poor : a short investigation produced only 29 species. The forest is of medium height and all vegetal strata are represented. There are only a few big trees (in particular Geissois ternata, Cananga odorata *and* Ficus fulvo-pilosa). *The middle stratum, on the other hand, is quite abundant* (Cyathea sp. ; Cerbera manghas, Pandanus odoratissimus). *The herbaceous stratum is fairly rich in brackens* (Nephrolepis sp., Culcita straminea, Microsorium scolopendria, Lygodium reticulatum). *In addition, there are many creepers* (Entada phaseoloides, Lindsea ensifolia).

This forest has been cleared many times to make way for subsistence crops (Colocasia esculenta, *yams ;* Cocos nucifera, *coconut trees ;* Dioscorea alata, *taro ;* Piper methysticum, *yaqona ;* Musa nana, *banana). These crops are carried for two of three years and the patches are then abandoned and rapidly invaded by creepers* (Mikania micrantha *and* Ipomoea gracilis).

These secondary forest remains survive on clayey but often shallow soils, in wet areas.

Forest with Cyathocalyx insularis, Ficus oblica and Litsea pickeringii

These closed forests develop on the limestone in the western and southern parts of the island. Their spread, like that of the first group, is restricted ; they occupy only 4 % of the land area. Considering the limited number of observations, the floristic composition is probably much richer than appears in our lists but nonetheless comparatively poor. This formation is dominated by large trees (Cyathocalyx insularis, Ficus oblica, Litsea pickeringii) *and appears to grow particularly well on the lithosols and on the shallow soils on limestone. As soon as the soil becomes deeper, this forest tends to be replaced by an open vegetation of the talasiga type.*

Like the previous formation, this forest has been cleared in many places in order to grow coconuts and subsistence crops wherever the soil permits.

The growth of forest on these limestone remains rather difficult to understand because the plants in this environment do not dispose of large supplies of water. We have to suppose as we do for the uplifted atoll of KABARA and as TERCINIER (1971) did for New Caledonia and the Loyalty Islands, that water is obtained by capillary action through the limestone.

Swamp forests with Inocarpus fagiferus and Pandanus odoratissimus

These forests develop in the sub-coastal swamps but cover very small areas, principally near the villages of Levuka and Nasaqalau. They are dominated by trees (Inocarpus fagiferus, Barringtonia racemosa, Ficus fulvo-pilosa) *but a fairly well-developed middle stratum with* Pandanus odoratissimus *and* Cerbera manghas *in particular is also visible. These forests have often been cleared for taro plantations, and the soil surface is covered with* Acrostichum aureum *bracken and* Ipomoea sp. *and* Mikania micrantha *creepers. The forests stand in areas saturated with fresh water but are sometimes invaded by sea water during very high tides.*

Mangrove forests

Mangroves cover a significant portion of Lakeba, about 7 % of the total surface. They grow mainly on the eastern side of the island sometimes at a considrable distance from dry land. They consist chiefly of forest vegetation with Rhizophora sp. *a common species throughout the archipelago (PARHAM 1972).*

Les forêts de mangrove

Les forêts de mangrove occupent à Lakéba une surface non négligeable, environ 7 % de la surface totale de l'île. Elles s'étendent principalement dans la partie orientale de l'île, parfois sur une grande distance à partir de la terre exondée. Ces mangroves sont principalement couvertes d'une végétation forestière à *Rhizophora sp.*, commune à travers tout l'archipel (PARHAM 1973).

Les plantations de cocotiers

Ces plantations sont généralement anciennes (plus de 70 ans) et peu entretenues. Elles couvrent près de 18 % de la surface de l'île. Elles ont été établies dans deux localisations préférentielles : la forêt du bord de mer et les forêts galeries.

La composition floristique des forêts primitives est impossible à reconstituer. On peut toutefois s'en donner une idée grâce à certains îlots de végétation protégés, ou grâce à des individus de ces formations primitives dispersés dans les plantations.

Deux cas semblent se présenter en fonction de la nature du sol : les forêts sur sables et débris coralliens et les forêts des plaines argileuses.

— Sur sable de bord de mer, on aurait une formation ligneuse basse à *Guettarda speciosa* et *Messerschmidia argentea* dominants comme on en observe dans la majorité des atolls coralliens du Pacifique (FORSBERG 1953).

— Sur sols argileux, les cocotiers occupent la majeure partie de la plaine du bord de mer et les plaines alluviales récentes. Des lambeaux de forêt préservés indiquent une formation haute riche en *Barringtonia racemosa, B. asiatica, Inocarpus fagiferus, Hibiscus tilliaceus* et *Terminalia catapa* notamment.

Les changements floristiques dus aux plantations sont ici radicaux. Les espèces ligneuses originelles ont été en presque totalité éliminées pour faire place au cocotier. Par contre, on note une invasion du sous-bois par des espèces herbacées et buissonnantes, en grande majorité d'introduction récente (Malvacées, Graminées, Légumineuses, Composées, Labiés et Verbenacées). Plus de la moitié des espèces observées dans cette formation sont des plantes cultivées ou introduites. Ces plantes dont certaines ont un grand dynamisme, arrivent à former sous les cocotiers, une sorte de fourré, gênant à la fois la récolte du coprah et le pacage des bovins. Dans certains secteurs côtiers, de véritables pâturages à graminées, avec comme principale introduction le « Koronivia grass » *(Brachiaria humidicola)* sont en voie d'installation.

Les fruticées sempervirentes à ***Miscanthus floridulus*** *(fourrés à roseaux)*

Cette formation dense, très difficilement pénétrable, apparaît en position de forte pente, sur sols généralement peu épais, riches en montmorillonite (Eutric cambisols). Elle occupe environ 4 % de la surface de l'île.

Elle est dominée par des roseaux *(Miscanthus floridulus)* pouvant atteindre des tailles de deux à trois mètres de hauteur. Associés à ces roseaux, on observe quelques espèces arborescentes ou buissonnantes *(Pandanus odoratissimus, Cerbera manghas, Alphitonia vieillardi),* des fougères *(Nephrolepis sp., Ptéridium esculentum)* et des plantes adventices *(Psidium guajava, Mimosa pudica, Hyptis pectinata, Ocimum gratissimum...).*

Cette formation brûle assez régulièrement, et est défrichée pour y cultiver du manioc *(Manihot esculenta)* ou des patates douces *(Ipomoea batatas).*

Ces cultures sont faites en alternance avec des jachères de durée moyenne (2 à 3 ans de cultures pour 3 à 4 ans de jachère) et donnent de bons rendements. Les sols, sur lesquels elles se développent, sont des sols riches mais assez régulièrement secs.

The coconut plantations

These groves are generally old (over 70 years) and not well tended. They cover nearly 18 % of the island's land area but were planted in two favoured types of location, areas formerly under beach forest and gallery forest.

It is impossible to reconstruct the floristic composition of the forests they have replaced but a rough idea may be obtained from a few pockets of protected vegetation or from some individuals of the primitive communities scattered through the plantations.

These seem to have been two kinds of community, depending on the nature of the soil : forests on sand and coral debris and forests on clayey plains.

— On the sandy beaches, there is evidence of a low ligneous formation with Guettarda speciosa *and* Messerschmidia argentea *predominating, as on most coral atolls in the Pacific (FORSBERG 1953);*

— On clayey soils, the coconut trees occupy the greater part of the sub-coastal and recent alluvial plains. Some remnant patches of forest indicate a formation particularly rich in Barringtonia racemosa, B. asiatica, Inocarpus fagiferus, Hibiscus tilliaceus *and* Terminalia catapa.

Here the floristic changes brought about by the plantations are radical : the original ligneous species have been almost entirely driven out to make way for coconuts while the undergrowth has been invaded by herbaceous and bushy species, most of them recently introduced (Malvaceae, Gramineae, Leguminosae, Compositae, Labiatae and Verbenaceae). More than half the species found in this formation are introduced or cultivated plants. Some are extremely dynamic and form a thicket under the coconut palms which makes it difficult to collect the copra or graze cattle. In certain coastal areas, thus graminaceous pastures based on the introduced koronivia grass (Brachiaria humidicola) *are being established.*

Evergreen shrubs with Miscanthus floridulus (reed thickets)

This dense formation, often very difficult to penetrate, appears on steep slopes, on generally shallow soils rich in montmorillonite (eutric cambisols) and occupies about 4 % of the island's surface area.

It is dominated by reeds (Miscanthus floridulus) *which can attain two or three metres in height but contains a few trees and bushes* (Pandanus odoratissimus, Cerbera manghas, Alphitonia vieillardi), *some brackens* (Nephrolepis sp. Pteridium esculentum) *and some weeds* (Psidium guajava, Mimosa pudica, Hyptis pectinata, Ocimum gratissimum, *etc.).*

These areas are quite frequently burned and cleared in order to cultivate cassava (Manihot esculenta) *or sweet potato* (Ipomoea batatas). *These crops are grown in alternation with moderately long periods of fallow (2-3 years of cultivation for 3-4 years of fallow) and give good yields. The soils on which they grow are fertile but often dry so that moisture-demanding crops such as taro or yams are not cultivated on this land.*

In many instances, this reed thicket is found at the edge of the closed forest and seems to be a recent secondary formation in relation to the forest.

Herbaceous forb vegetation (Talasiga)

On Lakeba, the term talasiga covers herbaceous strata dominated by forbs (non-graminaceous herbaceous species), mainly brackens (Dicranopteris linearis *and* Pteridium esculentum). *The ligneous synusia is more or less abundant. By contrast with the talasiga areas of Viti Levu in particular, mission grass* (Penisetum polystachyon) *is almost completely absent from Lakeba's talasiga. The latter has been divided into four subgroups according to physiognomic aspect, floristic variety and the dominance of certain species.*

On n'y observe donc pas de cultures exigeantes au point de vue hydrique comme le taro et l'igname.

Dans de nombreux cas, cette formation se trouve en lisière de forêt dense et semble une formation secondaire récente par rapport à la forêt.

Les végétations herbacées à forbes (Talasiga)

Sous la dénomination de Talasiga sont regroupées à Lakéba des formations à strate herbacée dominées par des forbes (espèces herbacées non graminéennes). On y observe principalement des fougères *(Dicranopteris linearis* et *Pteridium esculentum)*. La synusie ligneuse est plus ou moins riche. Contrairement aux formations à Talasiga de Viti Levu en particulier, le « mission grass » *(Penisetum polystachyon)* est pratiquement absent des formations à Talasiga de Lakéba. On a divisé cette formation en quatre sous-ensembles en fonction de son aspect physionomique, de sa richesse floristique et de la dominance de telle ou telle espèce.

Végétation à forbes hautes : fougeraie dense à ***Pteridium esculentum*** *et* ***Dicranopteris linearis*** *et synusie ligneuse abondante*

Cette formation se développe généralement sur les sols ferrallitiques profonds des plateaux Ia et Ib (Acric ferralsols). Elle couvre sur l'île une surface assez faible (environ 3 %). Elle est régulièrement soumise à des feux.

Cette végétation prend parfois un aspect de formation paraforestière. La strate arborée peut être relativement dense et est dominée par les *Casuarina equisetifolia* et les *Pandanus odoratissimus*. On observe, par ailleurs, une abondance d'espèces buissonnantes qui prennent parfois un grand développement, *Cerbera manghas, Dodonea viscosa, Commersonia bartramia, Metrosideros collina Wickstroemia foetida* notamment. La strate herbacée est dense et dominée par des fougères *(Pteridium esculentum* et *Dicranoperis linearis)*.

Traditionnellement cette formation n'est utilisée que pour y chercher des bois de case ou de feu. Actuellement, elle fait l'objet de plantations de *Pinus caribaea*.

Végétation à forbes hautes : fougeraie mixte à ***Didranopteris linearis*** *et à* ***Miscanthus floridulus*** *et à synusie ligneuse réduite.*

Cette unité se développe dans de larges vallées sur sols profonds lessivés (chromic luvisols).

Elle comprend une strate arborée assez claire dominée par des individus de *Pandanus odoratissimus*. On n'y observe que très peu de *Casuarina equisetefolia*. Dans la strate herbacée, les roseaux *(Miscanthus floridulus)* dominent mais ne forment pas un véritable fourré. Ils se trouvent dispersés au milieu d'un tapis de fougères *(Dicranopteris linearis* et à un moindre degré, *Pteridium esculentum)* et de quelques plantes introduites.

Certaines zones humides sont traditionnellement défrichées pour y planter du manioc. Les rendements de ces plantations seraient plus faibles que ceux d'autres terrains plus fertiles mais le goût du manioc serait meilleur d'après nos informateurs. Ces cultures entraînent un enrichissement local en espèces adventices, mais leur extension reste assez limitée, du fait de la pauvreté du sol. Des plantations de *Pinus caribaea* ont aussi été testées dans ces secteurs. La croissance des plants a été rapide en comparaison avec les autres plantations en zone de Talasiga. On assiste, dans les plantations les plus âgées, à un enrichissement floristique notable du sous-bois.

Végétation à forbes basses : fougeraie à ***Dicranopteris linearis*** *et à synusie ligneuse réduite.*

Cette formation se développe sur la grande majorité des collines de l'île sur sols ferrallitiques rajeunis (ferrallic cambisols). C'est la formation la mieux représentée de l'île, elle

Tall forb vegetation : dense fern thicket with **Pteridium esculentum** and **Diacranopteris linearis** and abundant ligneous synusia

This vegetation usually develops on the deep ferrallitic soils of plateaux Ia and Ib (acric ferralsols). It covers only a small surface area, some 3 % of the island, and is regularly burned.

It sometimes has a para-forest aspect. The tree stratum can be relatively dense and is dominated by Casuarina equisetifolia *and* Pandanus ordoratissimus. *Moreover, numerous bushy species occur and sometimes display vigorous growth (in particular* Cerbera manghas, Dodonea viscosa, Commersonia bartramia, Metrosideros collina *and* Wickstroemia foetida). *The herbaceous stratum is also dense and dominated by brackens* (Pteridium esculentum *and* Dicranopteris linearis).

Traditionally, this formation is only used for light timber or firewood but it is now being planted over with Pinus caribaea.

Tall forb vegetation : mixed fern thicket with **Diacranopteris linearis** and **Miscanthus floridulus** and a restricted ligneous synusia

This formation is found in the wider valleys on deeply leached soils (chromic luvisols). It includes a fairly open tree stratum dominated by individual Pandanus odoratissimus *but with very few* Casuarina equisetifolia. *In the herbaceous stratum* Miscanthus floridulus *reeds predominate but do not form real thickets, being scattered among a carpet of fern* (Dicranopteris linearis *and to a lesser extent* Pteridium esculentum) *and a few introduced plants.*

Traditionally, certain moister patches are cleared for the cultivation of cassava and, although these plots yield less well than other more fertile land, our informants told us that the cassava grown on them had a better taste. This cropping causes weeds to flourish in certain places but they have not spread very far because of the infertility of the soil. Some Pinus caribaea *have also been planted as an experiment and their growth has been rapid in comparison with other stands in talasiga areas. In the older plantations, a noteworthy floristic enrichment of the understory is visible.*

Low forb vegetation : fern thicket with **Dicranopteris linearis** and a restricted ligneous synusia

This community has developed on the great majority of the island's hills, on rejuvenated ferrallitic soils (ferralic cambisols). It is the most widespread form of vegetation on the island, covering some 30 % of its surface and giving the landscape its desolate appearance.

The tree and bushy strata are open to very open. As in the previous community, there are some Casuarina equisetifolia, Pandanus odoratissimus *and* Dodonea viscosa, *but few other species and then in very small numbers. At ground level there is a fern thicket dominated by* Dicranopteris linearis.

This formation is regularly burned but little used by the population. With the sole exception of the mangroves, it contains the smallest proportion of introduced plants. However, it is interesting to note that the opening-up of access roads with heavy machines and a little sowing has prompted the growth of some introduced plants, particularly Gramineae, in the worked sectors. At the same time, Pinus caribaea *have been found to grow rather well on these soils.*

Low forb vegetation : mixed fern thicket with **Dicranopteris linearis, Pteridium esculentum, Miscanthus floridulus** and many weeds, with a small ligneous synusia.

This formation is found in the centre of Lakeba, in the highest and most humid part of the island, but occupies only a relatively small area.

The same tree and bushy species as in the other talasiga

couvre 30 % de sa surface et donne au paysage son aspect désolé.

La strate arborée et arbustive est claire à très claire. On y note comme précédemment des *Casuarina equisetifolia,* des *Pandanus odoratissimus* et des *Dodonea viscosa.* Mais on n'observe que peu d'autres espèces et en nombre très réduit. Au sol se développe une fougeraie dominée par *Dicranopteris linearis.*

Cette formation brûle très régulièrement et n'est que très peu utilisée par la population. C'est l'une de celles pour lesquelles on trouve le plus faible pourcentage de plantes introduites, à l'exception des mangroves. Il est toutefois intéressant de noter que l'ouverture de pistes avec des engins mécaniques et quelques semis ont provoqué la croissance de quelques plantes introduites, en particulier des graminées, dans les secteurs travaillés. Parallèlement, les plantations de *Pinus Caribaea* croissent assez bien sur ces sols.

Végétation à forbes basses : fougeraie mixte à ***Dicranopteris linearis, Pteridium esculentum, Miscanthus floridulus*** *et nombreuses adventices et à synusie ligneuse réduite.*

Cette formation apparaît dans le centre de l'île, dans la partie la plus élevée et la plus humide. Elle occupe une surface relativement réduite.

On y retrouve les mêmes espèces arborées et arbustives que dans les formations à « Talasiga » précédentes mais en plus grand nombre. Le rapport entre les espèces est par ailleurs différent. Des espèces comme *Metrosideros collina* qui étaient peu abondantes deviennent abondantes. On peut aussi observer des espèces à affinité forestière comme *Geissoïs ternata.* Parmi les plantes herbacées, *Dicranopteris linearis* domine toujours mais on lui trouve associées de nombreuses autres espèces dont de nombreuses introduites, *Hyptis pectinata, Agave sisalana, Clidemia hirta* ou *Erechtites valerianoefolia* par exemple. Près de 20 % des espèces sont ainsi des espèces introduites. Plusieurs causes favorisent probablement ces introductions : les sols argileux sont légèrement plus fertiles dans ce secteur que dans les autres zones à Talasiga et le climat y est plus humide. L'utilisation par l'homme de cette formation est malgré tout très faible.

Végétation hydromorphe des eaux douces enracinée à Cyperacées, ***Ludwigia octovalvis*** *et* ***Mikania micranta*** *dominant.*

Ces prairies apparaissent dans les zones marécageuses des vallées et de la plaine côtière et couvrent des surfaces assez réduites (2 % de la surface totale de l'île). Elles sont dominées par une végétation herbeuse dense à base de Cyperacées *(Carex spp, Scleria polycarpa)* et de fougères *(Nephrolepis sp.).* On y observe toutefois en nombre plus ou moins important des espèces introduites *(Ludwigia octovalvis, Mimosa pudica, Tripsacum laxum)* ainsi que des espèces cultivées *(Cyrtosperma chamissonis,* et *Dioscorea alata).* Cette formation est depuis longtemps soumise à de nombreux défrichements pour y établir des tarodières irriguées. Sa composition floristique apparaît ainsi souvent relativement hétérogène, en fonction de l'intensité de son utilisation.

La végétation de Lakéba apparaît ainsi relativement diversifiée vue la taille de l'île et ceci malgré l'effet homogénéisateur des feux de brousse qui sévissent régulièrement. Les récentes plantations de *Pinus caribaea,* en arrêtant les feux et en installant un couvert forestier dans des secteurs dégradés permettent cependant d'espérer un renversement de ce processus de dégradation du couvert végétal même si la flore est modifiée.

formations are found but they are more abundant and the relative proportion of the various species is different. Certain species such as Metrosideros collina, *sparse elsewhere in the talasiga, here become abundant and others with forest associations, like* Geissois ternata, *can also be found. Among the herbaceous plants,* Dicranopteris linearis *still predomi nates but is associated with many other species, some of which have been introduced* - Hyptis pectinata, Agave sisalana, Clidemia hirta *and* Erechtites valerianoefolia *for example. Nearly 20 % of the species have been introduced. Several factors probably favour their establishment : the clayey soils are slightly richer than in the other talasiga zones and the climate is more humid. Man's use of this formation is, however, very slight.*

Hydromorphic rooted fresh-water vegetation with Cyperaceae **Ludwigia octovalvis** and **Mikania micrantha** predominating

These grasslands occur in the swamps of the valleys and coastal plain but cover only small areas (2 % of the island's total surface area). They are dominated by a dense herbaceous vegetation with Cyperaceae (Carex spp., Scleria Polycarpa) *and ferns* (Nephrolepis sp.) *but one also finds a varying number of introduced* (Ludwigia octovalvis, Mimosa pudica, Tripsacum laxum) *and cultivated species* (Cyrtosperma chamissonis *and* Dioscora alata). *These areas have long been frequently cleared for irrigated taro cultivation ; the floristic composition is therefore often rather heterogeneous and bears direct relation to the intensity of human use.*

Considering the size of the island, the vegetation of Lakeba is relatively diversified in spite of the tendency of the regular bush fires to promote a more uniform vegetation.

The recent plantations of Pinus caribaea, *by putting an end to fires and establishing a forest cover in degraded areas, raise hopes that the process of plant cover degradation will be reversed even if the flora changes.*

7 - UTILISATION DES TERRES

L'homme a marqué le paysage de Lakéba d'une profonde empreinte, dont l'interprétation fait l'objet d'une grande partie de ce volume. L'auteur a étudié l'utilisation actuelle des terres, pour dégager la structure : celle-ci, qui comprend des éléments tant sélectifs que non sélectifs, témoigne de la juxtaposition d'une économie de monoculture de rapport indifférenciée sur une agriculture de subsistance séculaire qui a subi d'innombrables adaptations.

7.1 - Etablissement de la carte

La carte d'utilisation des terres de Lakéba a été établie à la suite de l'interprétation de photographies aériennes et de travaux sur le terrain. La carte hypsométrique de base à partir de laquelle ont été dressées toutes les autres cartes de Lakéba a été faite sur demande pour le projet par M. W. WASSERMANN, du College of Advanced Education de Canberra (Australie). Etant donné les possibilités très limitées de contrôle au sol et la mauvaise qualité des photographies aériennes, cette carte représente à elle seule un exploit ; sans elle, il eût été impossible d'établir des cartes détaillées. Avec une échelle de 1/12.500 et des courbes à intervalles de 10 m, il a été possible de localiser des jardins à quelques mètres près : on peut donc dire que le degré de précision est assez élevé. Une première carte de l'utilisation des terres fut faite sur cette base grâce à l'interprétation des photographies aériennes prises à 1.500 m environ en 1972, complétées par une photographie prise à quelques 3.650 m en 1970. Elle fut ensuite mise à jour en 1976 à l'aide de travaux au sol qui durèrent plusieurs mois. L'enquête sur le terrain ayant permis de découvrir un nombre considérable de jardins dissimulés sous les arbres, il n'est pas possible de faire une comparaison quantitative précise à quatre ans d'intervalle. Il y a eu des changements considérables dans le détail de la répartition des terres de culture irriguée et des terres de culture en sec, et la quasi-totalité des pinèdes ont été créées entre 1972 et 1976. Par contre, la répartition des cocoteraies n'a pratiquement pas changé pendant la même période.

7.2 - Répartition des modes d'utilisation des terres

Plusieurs modes d'utilisation des terres, avec quelques variantes, ont été identifiés et indiqués sur la carte. Par souci de clarté, et du fait que certaines des variantes de détail n'ont pas pu être reportées sur la carte pour l'ensemble de l'île, ces modes ont été classés en dix grandes catégories en vue de leur présentation finale. Le tableau 14 ci-dessous indique le pourcentage des terres relevant de chacune de ces grandes catégories pour l'ensemble de l'île.

Ce qui frappe de prime abord, à la fois sur la carte et dans le tableau, c'est l'importance des terres non utilisées pour l'agriculture ou les cultures de rapport : les trois cinquièmes de l'île sont improductifs. En outre, 15 % de la superficie de l'île n'ont servi à la plantation de pinèdes que récemment. Au début des années soixante, moins du quart des terres était consacré aux cultures, surtout à l'arboriculture commerciale, celle du cocotier. Le point le plus remarquable du tableau 14 réside dans le fait que seulement 4,3 % de la surface totale est consacrée à des cultures vivrières de subsistance, cultures dont vit l'île depuis des siècles, et qui, de nos jours, subviennent aux besoins de base en fruits et légumes des 2.000 habitants de Lakéba et de leurs nombreux visiteurs.

7 - LAND USE

The impact of man on the landscape of Lakeba has been profound, and a large part of this volume is devoted to its interpretation. The contemporary use of land resources was studied by the author, and the following discussion analyses a pattern of land use which has both selective and non-selective elements. The present-day pattern is the outcome of the overlay of an undiscriminating monocultural cash-crop economy on an intricately adaptive subsistence agriculture of great age.

7.1 - The making of the map

The construction of the land-use map of Lakeba was the result of air-photograph interpretation and field work. The contoured base map on which all our Lakeba maps rest was commissioned by the project, and was prepared by Ir. W. WASSERMANN of the Canberra College of Advanced Education, Australia. Dependent on very limited ground control, and on badly-flown air photography, this map itself is a considerable achievement, and the detailed mapping would not have been possible without it. Working at a map scale of : 12 500 with contours at 10 m intervals it was possible to locate gardens within a few metres from the topographical detail alone, and a fairly high order of accuracy can therefore be claimed. An initial plot of land use was made on this base by interpretation of air photographs taken at c. 1500 m in 1972, supplemented by photography at c. 3650 m flown in 1970. This map was then updated to 1976 by field work on the ground over a period of several months. Because a considerable number of additional garden plots concealed under trees was discovered in the course of field survey, it is not possible to make an accurate quantitative comparison of change over the four-year period There was, however, considerable change in detail in the distribution of wet-crop and dry-crop land, and almost all the pine plantations had been established between 1972 and 1976. The distribution of coconut land, on the other hand, remained virtually unchanged between the two dates.

7.2 - The distribution of land-use types

Several land-use types with variations were identified and mapped. For clarity, and because some of the detailed variations could not be sustained in mapping across the whole island, these types were grouped into ten major classes for final representation. Table 14 below gives the percentage of land in each of these major classes over the whole island.

The immediate striking feature of both map and table is the amount of land unused for agriculture or any commercial crop- three fifths of the island is unproductive. Another 15 per cent of the island has only recently been put to use for pine plantations. In the early 1960's, less than one quarter of the land was used for crops, and most of that was for the commercial tree-crop, the coconut. The most remarkable figure revealed by Table 14, is that only 4.3 per cent of Lakeba is used for crops that are tilled i.e. the subsistence food crops on which the island has relied for centuries, and which today supply the staple fruit and vegetable diet for over 2000 inhabitants of Lakeba and their many visitors.

The food crop areas are remarkable also in that they do not lie grouped around the villages, as one might expect, but start deep inland and follow the valleys in a radiating pattern from the higher ground in the interior toward the coastal plain. Their

Tableau 14. — Superficie & pourcentage des catégories de modes d'utilisation des terres à Lakéba, 1976

	Superficie ha	Pourcentage %
TERRES CULTIVÉES		
Cocoteraies	1101.2	19.7
Jardins sous cocoteraies	67.1	1.2
Jardins de culture irriguée & terres en friche	83.9	1.5
Jardins de culture en sec	89.4	1.6
Pinèdes	872.0	15.6
		39.6
TERRES NON CULTIVÉES		
Forêts, forêts de marécage et de rivage	581.1	10.7
Marécages (y compris d'anciennes terres de culture irriguée)	50.3	0.9
Villages, écoles, aérodrome	100.6	1.8
Autres, principalement talasiga	2627.3	47.0
		60,4
	5589.9	100.0

Table 14. — Area and proportion of land-use classes in Lakeba, 1976

	Area ha.	*Percentage of land area %*
CROP LAND		
Coconuts	1101.2	19.7
Gardens under coconuts	67.1	1.2
Wet crop gardens and fallow	83.9	1.5
Dry crop gardens	89.4	1.6
Pine plantations	872.0	15.6
		39.6
NON-CROP LAND		
Forest ; swamp and beach forest	581.1	10.7
Swamp (includes some former wet crop land)	50.3	0.9
Village land ; schools, airstrip	100.6	1.8
Unused, mainly talasiga	2627.3	47.0
		60.4
	5589.9	100.0

Les cultures vivrières ont également ceci de remarquable qu'elles ne sont pas groupées autour des villages, comme on pourrait s'y attendre : elles se trouvent tout à fait à l'intérieur des terres et suivent les vallées en rayonnant des hautes terres de l'intérieur vers la plaine côtière. Elles ne s'étalent pas et s'interrompent souvent, découpant les terres non cultivées en gros blocs de collines dénudées. Dans ce système de culture, on décèle à la fois des contraintes naturelles et des processus sélectifs qui sont le fait de l'homme et que nous allons étudier ci-après.

7.3 - Evolution de l'agriculture

La carte se compose de trois éléments principaux, dont chacun représente une échelle chronologique et une technologie différentes. Le mode de culture radial de l'intérieur est le mode traditionnel de l'agriculture de subsistance séculaire pratiquée sur de petites parcelles et présente toutes les caractéristiques d'une agriculture tributaire de l'eau. Cela n'a rien de surprenant sur une île volcanique ancienne aux sols dégradés et menacée par la sécheresse.

Le deuxième élément est la ceinture de cocotiers qui borde la côte, et ne date que du siècle dernier. Il résulte de la demande de coprah des sociétés commerciales et de la nécessité pour Lakéba de produire une culture de rapport à écouler sur les îles principales. Quant au troisième élément, il relève également de l'arboriculture, et est encore plus récent : le *Pinus caribaea* n'est cultivé que depuis dix ans ; c'est une culture d'intérieur qui couvre une grande partie des terres jusqu'alors en friche de l'ouest de l'île, notamment les collines couvertes de talasiga.

Parallèlement à l'accélération de l'échelle du temps, avec l'introduction de cultures et de techniques nouvelles, les superficies utilisées ont augmenté à chaque étape. Les cocoteraies occupent maintenant quatre fois plus de terres que les cultures vivrières, et les pinèdes ne vont pas tarder à occuper une plus grande superficie que les cocoteraies. Il y a entre le temps, les techniques et les superficies un lien étroit dont nous allons étudier en détail les causes et la formation.

course is tenuous, often intermittent ; they break up the non-crop land into great blocks of open, dissected hills. There are indications in this crop pattern of both physical constraints, and of man's own selective processes, which we will examine below.

7.3 - The changing scale of agriculture through time

The map has three main components ; each of these represents a different time scale, and a different technology. The radial pattern of cultivation in the interior is the traditional pattern of centuries of subsistence farming on small plots, and shows every indication of being a water seeking agriculture. This is a pattern to be expected in an old volcanic island with degraded soils, and with liability to drought.

The second component is the coconut « overlay » which girdles the coasts, and which has only been in existence since the last century. It is the creation of the company traders' search for copra and the response on Lakeba to grow a cash crop for a mainland market. The third component also comprises a tree crop, and again the time scale has been reduced by an order of magnitude. This crop, Pinus caribaea, *has only been planted during the last ten years, and a crop of the interior, covering much of the hitherto unusable land in the west of the island, mainly the talasiga clad hill slopes.*

While the time scale has quickened with the introduction of new crops and technology, so has the amount of land used increased with each stage. Coconuts now cover four times as much land as tilled crops, and pines will soon cover much more land than coconuts. The time scale, technology, and areal scale are closely linked ; cause and development will now be looked at in more detail.

7.4 - The Face of Lakeba - stages in man's impact

7.4.1 - The earliest years

The first settlers probably entered the island from the north about 3000 years B.P. (S. BEST, personal communication). They would not have made much of an initial impact on the island's ecology ; coconut husk, bird and fish bone and shell

7.4 - Physionomie de Lakéba
Les étapes de l'influence humaine

7.4.1 - Les premiers temps

Les premiers occupants sont sans doute arrivés par le nord aux environs de 3000 ans B.P. (indication fournie par S. BEST à titre personnel). Ils n'ont pas dû influer beaucoup sur l'écologie de l'île ; on a trouvé des fibres de noix de coco, des os d'oiseaux, des arêtes de poissons et des coquillages dans des abris rocheux près d'Ulunikoro, et il est vraisemblable qu'à l'origine, ces premiers habitants ont vécu de la chasse, de la pêche et de la cueillette dans les forêts et les lagons du littoral.

Plus tard, ils se sont enfoncés dans l'intérieur, s'installant dans des sites fortifiés sur les hauteurs ; ils ont commencé à déboiser la forêt naturelle pour se procurer du bois, se construire des habitations et des jardins. Avec les vagues successives de peuplement et l'accroissement numérique, certains ont pénétré encore plus avant dans l'intérieur des terres et une longue période de défrichage a commencé. L'homme avait alors découvert le feu, ce qui provoqua le premier changement important dans le paysage. La forêt naturelle fut lentement repoussée vers l'amont des vallées et le centre de l'île, avec des massifs détachés sur des affleurements calcaires près des côtes sud et ouest. Parallèlement, les reliefs de l'intérieur se couvraient progressivement d'une végétation évoluant vers le type talasiga et cette évolution se poursuit de nos jours, ce qui donne à Lakéba son aspect dégagé caractéristique.

Si l'on en juge par les datations au carbone et les taux de sédimentation recueillis dans le cadre du projet (HUGUES et HOPE, 1979, LATHAM, 1979), une intense activité de défrichage se serait produite vers 1500 à 2000 ans B.P. Le taux de sédimentation s'est ralenti au cours du dernier millénaire, mais le feu joue encore un rôle prépondérant dans les techniques agricoles. Les techniques simples persistent, en partie parce qu'elles sont efficaces et en partie parce qu'elles conviennent aux petites parcelles — la notion d'échelle intervenant de nouveau. La majorité des insulaires, que l'on pourrait appeler des petits exploitants, avaient trop peu de motivations et d'argent pour penser à investir dans les outillages au fur et à mesure de leur apparition. Le brûlis sert maintenant beaucoup pour défricher les parcelles qui sont restées en jachère pendant un certain temps ; en raison de l'appauvrissement des sols dégradés, la plus grande partie des terres cultivées de l'île, notamment sur les pentes couvertes de talasiga, ont besoin d'être périodiquement laissées au repos. Le brûlis sert également à détruire les souches d'arbres dans les zones forestières récemment défrichées.

7.4.2 - L'agriculture de subsistance traditionnelle

Depuis les temps les plus reculés, l'agriculture de subsistance est le mode d'existence traditionnel de la population de Lakéba. Les menus à base de racines et de fruits étaient complétés par un peu de pêche et par l'utilisation d'autres ressources naturelles telles que les forêts et la flore sauvage. Les populations du groupe Lau ont une vaste connaissance des arbres et des plantes indigènes, qu'ils utilisent non seulement pour le bois, mais également pour les teintures, l'huile, le parfum, les lianes (pour faire des ficelles et des cordes), etc. En période difficile, comme après l'ouragan Val, nombreux sont ceux qui ont vécu d'ignames sauvages (tivoli) et de taros des marais (M. BROOKFIELD, 1977).

Les principales cultures de subsistance sont les plantes à racines. De nouvelles cultures et des plantes adventices ont été introduites au cours des derniers siècles, et les exploitants ont pris l'habitude de mettre au point des techniques diverses adaptées aux environnements naturels différents et opposés de

have been found in rock shelters near Ulunikoro, and it seems likely that these people lived initially in the manner of hunter-gatherers, collecting and existing on the products of the coastal forest and lagoon.

Later, they moved inland to fortified sites on hill-tops ; here they began to clear the natural forest for wood, for habitation and for garden plots. With successive waves of settlement and an increase in numbers, some moved yet further inland, and a prolonged period of clearing began. Man was now using fire as a tool, and this led to the first great change in the face of the landscape. The natural forest was being slowly pushed back toward the heads of the valleys and the centre of the island, with outliers on limestone outcrops near the southern and western coasts. Meantime ; open hills, increasingly covered with an evolving talasiga type vegetation began to dominate the interior, and continue to do so to this day, giving Lakeba its distinctive open aspect.

A major period of clearing activity seems to have occurred about 1500 to 2000 years B.P., judging from the carbon dates and sedimentation rates already obtained by the project (HUGUES and HOPE, 1979 ; LATHAM, 1979) ; the rate has slowed over the last thousands years, but fire is still very much part of the farming system. The simple technology persists partly because it is effective, and partly because it is suited to the small plots involved — again a matter of scale. There has been little motivation and little money for the majority of islanders, who might well be described as small-holders, to think of investing in machinery as it has become available. Fire is now largely used to clear plots which have lain fallow for some time ; due to the impoverishment of the degraded soils, most of the cultivated land on the island, particularly on the talasiga slopes has to be rested regularly. Fire is also used to destroy tree stumps in newly cleared forest land.

7.4.2 - Traditional subsistence farming

Subsistence farming has been the traditional way of life of the people of Lakeba since the earliest times. Root crops and fruits have been supplemented by occasional fishing, and the use of other natural resources, such as forest and wild plants. Lauans have a wide knowledge of indigenous trees and plants, which they use not only for wood, but for dyes, oil, perfume, vines for string and rope, plus many other uses. When times are hard, as after Hurricane val, many live on wild yams (tivoli) and swamp taro (M. BROOKFIELD, 1977).

The main subsistence crops are tuberous. New crops as well as weeds have been introduced in the last few centuries, and the farmers have become skilled at developing different technologies to suit the different and contrasted natural environments on the island. The two main types of farming are wet crop farming and dry crop farming. In neither case are the plots very big — in fact, the Lauans refer to them as « tei-tei », or food gardens, which gives an indication of the scale of their activities.

Wet crop gardens

The swamps have already been described in the physical sections of Part A. They might seem to hold little promise for agriculture, but the people of Lakeba have developed draining techniques over centuries, and obtain a most important part of their food supply from these areas. There is only one wet crop grown, taro, or Colocasia esculenta, *but it is the favoured food of most Lakebans, and often preferred to yams, considered the staple food of much of Lau by previous writers such as THOMPSON (1940) and HOCART (1929). Rice was tried briefly in the 1960's, but failed due to lack of appropriate technology and marketing facilities.*

The gleysols in the valley swamps, and the histosols in the

l'île. Les deux principaux types de culture sont les cultures irriguées et les cultures sèches. Dans un cas comme dans l'autre les parcelles ne sont pas très grandes — les habitants des Lau les appelle « tei-tei », ou jardins viviers, ce qui donne une idée de l'échelle.

Jardins de cultures irriguées

Les marécages ont été décrits dans les chapitres physiques de la partie A. Ils pourraient paraître peu intéressants pour l'agriculture, mais au fil des siècles, les habitants de Lakéba ont inventé des techniques de drainage qui leur permettent de tirer de ces zones une partie très importante de leurs ressources vivrières. Il n'y a qu'une seule culture irriguée, le taro, ou *Colocasia esculenta,* mais c'est la nourriture préférée de la plupart des habitants de Lakéba, souvent plus que l'igname, auparavant considérée comme la nourriture de base d'une grande partie des îles Lau (THOMPSON, 1940 et HOCART, 1929). La riziculture, expérimentée dans les années soixante, a fait long feu, faute de techniques et de moyens de commercialisation adéquats.

Les sols hydromorphes des marécages de vallée et les histosols des marécages sub-côtiers sont drainés à l'aide d'un réseau de tranchées et de canaux, souvent à peu près rectangulaire, mais épousant parfois les courbes du terrain. Après le défrichage de la surface, on creuse des trous à l'aide d'un bâton à fouir et on y dépose les plantes à une certaine profondeur. L'eau qui coule autour de la parcelle est soigneusement surveillée tout au long de la période de croissance, qui dure habituellement neuf mois. Des détails complets sur les deux principales méthodes culturales et les diverses variétés de taros cultivées sont donnés par ailleurs (M. BROOKFIELD, 1979). Ce complexe culture-substrat praticulier montre une alternance de parcelles soigneusement plantées et d'étendues en jachère couvertes d'herbes plus ou moins hautes, selon que la dernière récolte est plus ou moins lointaine.

En 1976, on s'est demandé avec quelque inquiétude si les jeunes, qu'intéressaient plus les emplois salariés que l'agriculture, laisseraient se perdre les techniques de drainage et d'irrigation de leurs ancêtres. Il est certain que beaucoup de terres des marais étaient tombées en friche depuis les photographies aériennes de 1972 et que l'eau stagnait dans de nombreuses tranchées, devenues foyers potentiels à moustiques.

On ne sait pas encore dans quelle mesure les marécages sont l'œuvre, directe ou indirecte, de l'homme, ni quelles incidences une culture dense sur terrain drainé a eu sur l'écoulement de l'eau et des sédiments. Sans aucun doute, la végétation s'est modifiée, et elle pourra se modifier encore lorsque le projet de plantation de pinèdes, évoqué plus loin, réduira le ruissellement en surface et transformera les régimes des cours d'eau, l'écoulement souterrain et les taux d'évaporation.

Il y a deux autres types de jardins de cultures irriguées. Dans une vallée bien arrosée, telle que celle de Yadrana, le cours d'eau est détourné vers les parcelles latérales de la vallée et l'eau réacheminée vers le cours principal. On trouve parfois des parcelles dans le lit même du cours d'eau ; il s'agit habituellement des jardins les plus petits situés soit en amont, près de la source, soit en aval dans une boucle ou sur une terrasse peu profonde dans laquelle le cours d'eau s'est incisé. Même s'il s'agit d'un cours d'eau temporaire, les cultivateurs sont devenus experts pour choisir les endroits où la nappe aquifère est le plus proche de la surface ; ce sont, bien entendu, les plus menacés en période de sécheresse et ils risquent d'être les premiers à ressentir les effets de la croissance des pins. Toutefois, l'homme a fait preuve d'une ingéniosité considérable en adaptant le taro, qui exige beaucoup d'eau, à certains des écosystèmes les plus difficiles de l'île.

sub-coastal swamps are both drained by a system of interlocking ditches and channels, often in a roughly rectangular pattern, but sometimes curved to suit the terrain. After clearing the surface, holes are made with a digging stick, and the plants set at a certain depth. The water flow around the patch is carefully controlled throughout the period of growth, which normally takes nine months. Further details of the two main cultivation methods, and the several taro varieties grown, are given in M. BROOKFIELD, 1979. This particular soil-crop complex normally shows an alternation of orderly planted patches, and fallow areas covered in weeds of differing height, according to the time since the last harvest.

There was some concern in 1976 that younger generation who had become more interested in paid employment than farming, would lose the draining and irrigation skills of their forefathers. Certainly much more of the swamp land had gone out of use since the 1972 aerial photographs, and many ditches were stagnant, and potential breeding grounds for mosquitoes.

It has yet to be explored to what extent the swamps were man-made or man-induced, and how the cultivation of a dense drained crop has affected the water and sediment flow-through. Undoubtedly the vegetation has changed, and it may change yet again when the pine scheme, mentioned below, reduces the overland run-off, and alters the stream regimes, ground-water flow, and evaporation rates.

There are two other types of wet crop gardens. In a well-watered valley, such as the Yadrana valley, the stream is diverted to valley side plots, and the water returned to the main watercourse. Other plots are sometimes found in the stream bed itself ; these are usually the smallest of the gardens, and can occur near the valley heads, close to the spring site, or further downstream in a meander loop, or on a shallow terrace where the stream is incised. Even where a stream is ephemeral, the farmers have become expert in choosing sites where the water table is nearest to the surface ; these sites are of course most at risk in periods of drought, and may be the first to show the effect of the maturing pine scheme. Man has however shown considerable ingenuity in fitting this water-demanding crop, taro, into some of the more difficult ecosystems on the island.

Dry crop gardens

Dry crop gardens show far more variety than wet crop gardens, both in their differing situations, and in the number of crops grown. The gardens cultivated in the drier sites usually have a mix of crops, though some single stands do occur. Dry crop gardens may be found on almost any of the major soil groups, wherever man has cleared ground for them. They are to be found high on the island, under forest on the eutric cambisols ; on the hill-slopes, often replacing reed thickets ; along the valley sides, close to the wet crop gardens ; and the coastal plain under coconuts, on coastal rendzinas and alluvial land.

Many of the crops are tuberous. Yams, by tradition the staple crop, are said to have grown wild before the advent of man. While taro has become preferred eating, the yam has a special place in chiefly prestations, where the size of the yam is important. Different varieties of the crop have therefore been introduced to the island over the years ; they require deep tilling of the soil and special support for the vines (M. BROOKFIELD, 1979). Where new land has been cleared by burning, yams are usually the first crop planted, to take full advantage of the maximum fertility of the soil ; much of the great increase in burning of the natural vegetation in the early days of settlement was doubtless due to the requirements of this crop. The erosion which often followed, leaving red scars on the landscape, must have been an unforeseen consequence of the evolution of this

Jardins de cultures sèches

Les jardins de cultures sèches offrent bien plus de variété que les jardins de cultures irriguées, tant du point de vue de leur situation que du point de vue du nombre des cultures. Dans ceux qui se trouvent dans les zones les plus sèches, on fait habituellement de la polyculture, mais il arrive aussi qu'on y pratique la monoculture. Les jardins de cultures sèches se rencontrent pratiquement dans n'importe quel grand type de sol, là où l'homme a défriché la terre à cet effet. On les rencontre sur des cambisols eutrophes, sur les hauteurs, en forêts, sur les versants des collines, remplaçant souvent les fourrés de roseaux et de part et d'autre des vallées, près des jardins de cultures irriguées ainsi que sur la plaine côtière sous les cocotiers, sur les rendzines et terres alluviales côtières.

Beaucoup de ces cultures sont des plantes à racines. L'igname, culture de base traditionnelle, aurait, semble-t-il, poussé à l'état sauvage avant l'arrivée de l'homme. Si par la suite le taro lui a été préféré, l'igname conserve une place spéciale dans les fêtes données par les chefs, où sa taille lui donne un rôle important. Au fil des ans, différentes variétés d'igname ont été introduites dans l'île ; elles exigent un travail profond du sol et des supports pour les tiges (M. BROOKFIELD, 1979). Sur les terres nouvellement défrichées par écobuage, c'est généralement l'igname que l'on cultive en premier, pour tirer pleinement parti de la fertilité maximale du sol ; le développement considérable de l'écobuage de la végétation naturelle enregistré dans la première phase de peuplement est sans doute dû en grande partie aux exigences de cette culture. L'érosion qui en a souvent résulté, laisse des marques rouges sur le paysage. Elle a dû être une conséquence imprévue de l'évolution de cette technique du brûlis, et a eu une incidence incalculable sur les écosystèmes des zones intérieures. De nos jours, les buttes utilisées pour les cultures non irriguées sont habituellement espacées avec soin et étagées, afin de retenir l'eau et de réduire le pouvoir d'érosion d'un écoulement abondant sur le versant.

Parmi les autres cultures à racines, il y a la patate douce, *Ipomoea batatas,* — qui n'occupe cependant pas une place aussi importante que dans d'autres îles du Pacifique comme la Nouvelle Guinée —, et le manioc, introduit récemment et devenu très populaire. Le *Manihot esculenta* pousse vite et demande peu de soins ; cette culture se contente de sols pauvres et peut remplacer le roseau dans le complexe à talasiga. Le manioc a occupé des superficies de plus en plus grandes jusqu'à ce que, l'île ayant été touchée par l'ouragan Val, il se révèle trop vulnérable à ce genre de phénomène naturel ; on a émis l'avis que le dalo-ni-tana *(Xanthosoma sagitifolium),* plus résistant, déjà cultivé en petites quantités, pourrait le remplacer, à l'instar du via *(Cyrtosperma chamissonis)* moins populaire mais encore plus grand. Il faut également tenir compte, dans l'étude de l'agriculture de subsistance traditionnelle, des effets préjudiciables sur les cultures des catastrophes naturelles telles que les ouragans, les périodes de sécheresse et les incendies causés par la foudre ; d'ailleurs, ces catastrophes naturelles, ont, à n'en pas douter, joué un rôle très important dans le développement des écosystèmes qui existaient dans l'île avant que l'homme ne vînt les perturber avec son utilisation sélective des ressources.

Des fruits tels que l'ananas sont souvent cultivés en guise de séparation sur une parcelle. La banane et le plantain (souvent utilisés comme légume) poussent habituellement en bosquets. Les papayers s'ensemencent d'ordinaire spontanément et poussent bien ; on trouve les arbres à pain près des jardins de cultures irriguées et souvent même dans les villages. Les citronniers et les orangers poussaient auparavant à l'état sauvage, mais ils ont été en grande partie détruits par le défrichage.

Les légumes verts, tels que le bele et l'oignon, sont cultivés

fire technology, and has had an incalculable effect on the ecosystems in the interior areas. Nowadays, the mounds for planting of dry crops are usually spaced carefully and sited en echelon, so that they break the flow of water down slope, and decrease the erosive power of heavy run-off.

Other tuberous crops are sweet potatoes, Ipomoea batatas, *though not as important as on other Pacific islands, such as New Guinea and a recent introduction, cassava, which has become very popular.* Manihot esculenta *is fast growing and needs little attention ; it will grow quite well on the poorer soils, and can take the place of reed thicket in the talasiga complex. Cassava has covered increasingly larger areas until Hurricane Val, when it was shown to be too readily damaged by this hazard ; dalo-ni-tana* (Xanthosoma sagitifolium), *already grown in small quantities, has been suggested as a sturdier replacement for the more slender cassava, as has the even less popular but larger via* (Cyrtosperma chamissonis). *The limiting effects on crops of natural hazards, such as hurricanes and droughts, and fires caused by lightning strikes, must also be borne in mind in this review of traditional subsistence farming ; just as these hazards doubtless had much importance in the development of the ecosystems which already existed on the island before man arrived and disturbed them with his selective use of the resources.*

Fruits such as pineapples are often grown as a border to the other crops ; bananas and plantains (frequently used as a vegetable) tend to occur in clumps. Pawpaws are usually self-seeding, and grow well ; and the breadfruit tree can be found near wet-crop gardens and often in the villages themselves. Lemons and oranges used to grow wild but have largely been destroyed by clearing.

Green vegetables, such as bele and onions, have a place in most dry gardens, but recent introductions, often at the instigation of the Agricultural officers, such as chinese cabbage, beans and tomatoes, are not part of traditional farming. Egg plant, chillies and ginger can all do well in Lakeba, also peanuts, but so far all these crops are found in small quantities only. Sugar cane and corn are older crops ; so too is yaqona, which is crushed and made into a drink (called kava elsewhere in the Pacific). It takes a most important place in ceremonies, and more recently in social gatherings. Yaqona needs a lot of shade in its early years, and is therefore often planted interspersed with dalo-ni-tana or yams in forest clearings in the upper valleys. Now that it is being adopted by some farmers as a possible cash crop, some of the last remaining areas of forest are being lost for this purpose. A little yaqona is also being planted in dry gardens under coconuts.

7.4.3 - Cash Crops

Coconuts and copra

The main cash crop tried in Lakeba has been coconuts, but it is only since the nineteenth century that this crop has been planted in commercial quantities. It formed part of the company traders' effort to open up the eastern islands of Fiji to the trade in coconuts and copra. Although the course of events in Lakeba took a different path from those, say, in the larger northern island of Taveuni (H.C. BROOKFIELD, 1978), the introduction of the estate methodology and the consequent spread aroung the island of the coconut palm marks the second large known effect of man's activities on the natural vegetation. Until that time, the centuries of farming has affected mainly the interior of the island ; now the coastal plain was to be changed almost completely, with the removal of natural and beach forest, and the substitution of groves of coconuts, some of them reaching a considerable distance inland along the valley floors.

dans la plupart des jardins non irrigués, mais l'agriculture traditionnelle ne comprend pas des légumes tels que le chou de Chine, le haricot et la tomate, qui ont été introduits récemment, souvent à l'instigation des agents des services agricoles. L'aubergine, le piment et le gingembre poussent tous très bien à Lakéba, de même que l'arachide, mais jusqu'à présent, toutes ces cultures n'existent qu'en petites quantités. La canne à sucre et le maïs sont des cultures plus anciennes. Il en est de même du yaqona (appelé kava dans les autres régions du Pacifique), qui, écrasé, sert à fabriquer une boisson. Il occupe une place extrêmement importante dans les cérémonies et, depuis quelque temps, dans les réceptions. Pendant les premières années de sa croissance, le yaqona a besoin de beaucoup d'ombre ; aussi est-il souvent cultivé avec le dalo-ni-tana ou l'igname dans les clairières des vallées supérieures. Maintenant que certains agriculteurs se mettent à l'adopter comme culture de rente possible, une partie des dernières régions forestières est en train de disparaître. On trouve aussi un peu de yaqona dans les jardins de culture en sec sous les cocotiers.

7.4.3 - Les cultures de rapport

Le coco et le coprah

La principale culture de rente expérimentée à Lakéba a été la noix de coco, mais ce n'est que depuis le dix-neuvième siècle qu'elle se pratique à grande échelle. Elle s'inscrit dans le cadre des efforts des sociétés commerciales visant à ouvrir les îles orientales de l'archipel au commerce de la noix de coco et du coprah. Si, à Lakéba, les choses n'ont pas évolué de la même façon que dans la grande île septentrionale de Taveuni par exemple (H.C. BROOKFIELD, 1978), l'introduction des grandes plantations et, par la suite, la généralisation de la culture du cocotier dans toute l'île marque la deuxième grande incidence connue des activités humaines sur la végétation naturelle. Jusqu'alors, des siècles d'agriculture n'avaient guère modifié que l'intérieur de l'île ; dès lors, la physionomie de la plaine côtière allait changer presque du tout au tout, les forêts naturelles et les forêts du littoral disparaissant pour faire place aux cocoteraies, dont certaines pénètrent loin à l'intérieur en suivant les vallées.

Les villages, quant à eux, se sont déplacés de l'intérieur vers la côte, si bien que de nos jours, les huit grands centres de population, qui totalisent plus de 2000 habitants, se trouvent en bord de lagon ou à proximité. L'influence de l'homme sur l'interface terre-mer a augmenté et est devenue particulièrement visible à Tubou, le village le plus grand et le plus important (M. BROOKFIELD, 1979, R.D. BEDFORD et M. BROOKFIELD, 1979). Près de la côte ou de la route qui fait le tour de l'île, il y a maintenant plus de jardins et il est devenu beaucoup plus facile de pêcher fréquemment.

Le commerce de la noix de coco s'est développé en plusieurs étapes. Au départ, deux petits plantations furent créées au sud et à l'ouest de l'île ; les terres, certaines calcaires, furent défrichées et mises en culture par de la main-d'œuvre locale. D'autres cocotiers furent plantés de façon moins systématique par les mataqali locaux et, de façon encore plus aléatoire par des prisonniers condamnés par le tribunal Lau à « aller planter 50 cocotiers ». En 1976, on voyait encore des arbres centenaires, aux troncs très hauts et élancés, ne donnant pas de fruits, souvent bizarrement plantés, témoins de cette époque.

Au vingtième siècle, le régime de propriété des cocoteraies changea de nouveau. Les sociétés finirent par abandonner l'île, considérée comme trop marginale du point de vue de la viabilité commerciale. L'une des plantations fut achetée par une société chinoise, mais par la suite, tous les commerçants chinois et indiens, bien qu'ils fussent nés Fidjiens, quittèrent l'île, à une exception près. Les plantations revinrent donc aux Fidjiens.

Villages too moved toward the coast from the interior, so that today the eight main settlements with a total of over 2000 inhabitants between them lie on or very close to the lagoon. Man's effect on the land-sea interface was heightened, and has become particularly noticeable in the largest and most chiefly village of Tubou, (M. BROOKFIELDS 1979, R.D. BEDFORD and M. BROOKFIELD 1979). More gardens now lie close to the coast, or to the circum-insular road, and it is now much easier for the people to fish frequently.

There have been several stages in the development of the coconut trade on this island. Initially, two small company estates were set up in the south and west of the island ; the land, some of it on limestone, was cleared and planted with the help of local labour. Other coconuts were planted by the local mataqali, but more haphazardly, and others even more randomly by prisoners sentenced by the local lauan court to « go out and plant 50 coconuts ». In 1976 it was still possible to see 100 years old trees, very tall and slender, incapable of bearing fruit, and often at old angles and distances, which remained from this period.

In the twentieth century, the pattern of ownership of the coconut land has changed again. The mainland companies finally withdrew from an island considered too peripheral for commercial viability. One estate was bought by a Chinese company, but eventually all Chinese and Indian traders, though Fijian born, withdrew from the island, with one exception. All the land has reverted to Fijian ownership. Some of it is in mataqali hands, and individuals in the largest mataqalis may only have a small share in it. Other Lakebans have considerable holdings, especially those of the chiefly clan to whose ancestors gifts of land were made ; some have acquired additional land through marriage. Some of the larger holdings are run as estates, though not in the manner of expatriate estates, with labour lines. On Lakeba, the labour is usually supplied by families, usually from other islands, engaged to live on the estates and to look after the drier. These large coconut groves are fairly well looked after ; others, in spite of occasional Government subsidy schemes, are overgrown with weeds, and have few plantings of young trees to replace outworn groves.

Not all islanders are interested in copra as a cash crop, especially since the double disaster of a plunge in the price of copra and the damage caused by HURRICANE VAL in 1975. These islanders still use coconuts mainly for home consumption ; a few feed them to pigs. The small producer of copra may sell it green to the co-operatives for drying ; others have their own driers. It is overall a rather small scale enterprise — in 1974, the peak year, the total export was only 20,528 bags or approximately 931 tons (figures supplied by the Copra Board). There is no processing plant on the island, so all copra has to be sent to Suva.

Double use is sometimes made of coconut land. Mixed dry gardens under coconuts have already been mentioned ; an increasing trend is to plant grass, usually Koronivia grass under the trees, and then to run cattle on it when it is properly established. A new project has been to keep goats rather than cattle ; this has been tried near the western limestone area. Numbers of animals are not yet large though goats could increase rapidly ; cattle usually average around 150-200 for the whole island. Without adequate freezers any scheme for keeping meat or fish against lean times or for export is impossible.

The future use of some of the coconut groves is arguable. They are old and need replacing ; yet they are on good land which might more profitably be used for other crops. If all these unprofitable areas were cleared and put to better use, the land use map of Lakeba might well change again, and the local ecosystems would have to strike a new balance.

Une partie appartient aux mataqali, et dans les plus grands d'entre eux, la propriété privée est très limitée. D'autres habitants de Lakéba possèdent d'immenses exploitations, notamment ceux qui appartiennent au clan du chef, dont les ancêtres ont reçu des terres en offrande ; certains ont agrandi leur propriété par mariage. Certaines grandes propriétés sont exploitées comme des plantations, mais pas de la même manière que les plantations de type européen, qui emploient une main-d'œuvre salariée. A Lakéba, la main-d'œuvre est habituellement fournie par des familles qui viennent en général d'autres îles, et sont recrutées pour vivre dans les plantations et pour s'occuper du séchoir.

Ces grandes cocoteraies sont assez bien entretenues ; d'autres, malgré les subventions octroyées de temps à autre par le gouvernement, sont envahies par les mauvaises herbes et ne sont guère renouvelées.

Tous les habitants de l'île ne s'intéressent pas au coprah comme culture de rapport, surtout depuis le double désastre de 1975 (chute spectaculaire du prix du coprah et ouragan Val). Ils continuent d'utiliser la noix de coco principalement pour la consommation domestique, et l'emploient parfois dans l'alimentation des porcs. Certains petits producteurs la vendent sous forme de fruit vert aux coopératives, qui se chargent du séchage, alors que d'autres ont leur propre séchoir. On a, dans l'ensemble, plutôt affaire à de petites entreprises — en 1974, année exceptionnelle, le total des exportations n'a représenté que 20.528 sacs, soit approximativement 931 tonnes (chiffres fournis par l'Office du coprah). Comme l'île n'a pas d'usine de transformation, tout le coprah est traité à Suva.

Les terres sur lesquelles poussent les cocotiers font parfois l'objet d'une double utilisation. Nous avons déjà mentionné le cas des jardins en polyculture sèche sous cocoteraie ; on plante aussi de plus en plus des graminées, habituellement le Koronivia grass et une fois qu'elles ont bien pris, on y fait paître le bétail. Un nouveau projet d'élevage de caprins au lieu de bovins a été expérimenté près de la région calcaire occidentale. Le nombre des bêtes n'est pas encore très élevé, encore que les caprins puissent se multiplier rapidement ; quant aux bovins, on en compte en moyenne 150 à 200 bêtes pour l'ensemble de l'île. Faute de congélateurs appropriés, on ne peut mettre sur pied aucun projet de conservation de viande ou de poisson en prévision de périodes déficitaires ou pour l'exportation.

On peut se poser la question de l'avenir de certaines cocoteraies. Elles sont vieilles et ont besoin d'être remplacées ; par ailleurs, elles se trouvent sur de bonnes terres qui pourraient être plus rentables si on les utilisait pour d'autres cultures. Si toutes ces zones étaient défrichées et mieux exploitées, la carte d'utilisation des terres de Lakéba pourrait bien se modifier encore, et les écosystèmes locaux devraient trouver un nouvel équilibre.

Yaqona

C'est plus un arbuste qu'un arbre — nous en avons déjà parlé. Autrefois, les navires faisaient escale dans l'île pour le « grog ». L'ouragan Val a détruit des milliers de jeunes arbustes, mais grâce aux plantations effectuées par la suite, on devrait enregistrer un excédent commercial dans les années qui viennent. De nombreux cultivateurs préfèrent maintenant les perspectives qu'offre cette plante à celles du coprah ; mais le développement du yaqona menace de nouveau la forêt et l'équilibre écologique des vallées supérieures.

Pinèdes

Le *Pinus caribaea* a démarré modestement en 1968, où des villageois entreprenants entendirent parler d'un vaste projet de mise en valeur des terres à talasiga à Viti Levu. Ils commencèrent par des petites parcelles sur les pentes, derrière leur

Yaqona

This is a bush rather than a tree crop, and has already been mentioned. In the old days, ships used to put into the island for « grog ». During Val, many thousands of young bushes were lost, but with the post-Val plantings a commercial surplus is likely in the next few years. Many farmers now prefer its potentialities to copra ; but the extension of the yaqona plantings does threaten the forest and the ecological balance of the upper valleys yet again.

Pine plantations

Pinus caribaea *started in a small way in 1968 when villagers of initiative heard of the large scheme underway to reclaim the talasiga lands of Viti Levu. They began with small plots on slopes behind their own villages ; later pine planting became a communal island project ; and in the years to 1976 872 ha. had been planted widely on hitherto virtually useless land in the west of the island. Eastern areas are to follow later ; details are given in M.* BROOKFIELD *(1979), and the UNESCO/UNFPA Report (1977).*

Like most tree crops, this is not going to give an immediate return in cash. The aim is to produce wood or timber products for sale in 15-25 years, while at the same time rehabilitating talasiga land and preventing further erosion. Within that relatively short space of time, the face of Lakeba will have changed completely yet again ; formerly fern covered hills, with an occasional pandanus and casuarina tree, and wide views, will be submerged under a dark green pine mantle, and new ecosystems will be adjusting. In a few short years man will perhaps have covered the hills he has been laying bare for centuries, but this time it will be by the introduction of an exotic crop, with considerable commercial implications. The economic choices which this small island may have to make when the trees have matured are discussed elsewhere (M. BROOKFIELD, *1979). Meantime the young trees remain hazard prone, both to fire, against which there is as yet little equipment or preparation, and to drought and hurricane, against which little protection is possible. Many trees were lost in Hurricane Val in 1975, and the passage of Hurricane Mele only four years later is a reminder of the great potential for destruction. It is not impossible that virtually the whole crop could be wiped out and there are some arguments for diversifying, and planting less common Pacific woods, though none has yet been found to be as suitable as* Pinus caribaea *on the talasiga areas. The importance and fate of the pine scheme is one of the unknowns in the island's land use system as is its effect on both drainage and soils ; but to date it is the largest scheme attempted, and will affect virtually the whole island.*

7.4.4 - Non-crop land

We noted earlier that three-firths of Lakeba's surface is not used for cultivation. About one-tenth is covered by forests of different types. Dense forest is concentrated on the higher slopes and valley heads inland, and on the limestone outcrops near the coast. Beach and swamp forest occur more peripherally and sporadically. Some small use is made locally of wood and vines and other tree products.

Nearly two per cent of the land surface is taken for human use other than agricultural. This category includes man's habitation and service needs, and covers village areas, schools and their grounds roads, and the airport. The largest area in this category, some of it on good agricultural ground, is the Tubou-Levuka village complex (see Map , and BEDFORD *R.D. and* BROOKFIELD *M., op. cit.).*

The remaining near 50 per cent of the island's surface is not made use of by man except to use the reeds and pandanus

propre village ; plus tard, la plantation de pins devint un projet communal et, en 1976, 872 hectares de terre, pratiquement inculte jusqu'alors, avaient été plantés dans l'ouest de l'île. Ce fut ensuite le tour de la partie orientale (voir les détails dans M. BROOKFIELD (1979) et le rapport Unesco/FNUAP pour 1977).

Comme la plupart des cultures arboricoles, la pinède n'est pas immédiatement rentable. Ce que l'on vise, c'est d'en tirer du bois ou des produits du bois qui pourraient être vendus après 15 à 25 ans, tout en régénérant les terres à talasiga et en empêchant toute érosion supplémentaire. Pendant ce laps de temps relativement bref, la physionomie de Lakéba aura de nouveau complètement changé ; les côteaux enfouis sous les fougères, d'où surgissent ça et là un pandanus et casuarina, et dominant de vastes espaces, seront recouverts par un manteau de pins vert foncé et de nouveaux écosystèmes se formeront. En l'espace de quelques années, l'homme aura peut-être couvert les collines qu'il a laissées à nu pendant des siècles, mais cette fois, ce sera par l'introduction d'une culture exotique, ayant des incidences commerciales considérables. Les choix économiques que cette petite île sera peut-être amenée à faire lorsque les arbres seront parvenus à maturité sont analysés ailleurs (M. BROOKFIELD, 1979). Dans l'intervalle, les jeunes arbres sont à la merci de toutes les catastrophes — qu'il s'agisse du feu, contre lequel l'île est encore mal équipée ou préparée, ou de la sécheresse et des ouragans contre lesquels il n'y a guère de moyen de se prémunir. L'ouragan Val a détruit un grand nombre d'arbres en 1975 et seulement quatre ans après, le passage de l'ouragan Mele rappelle que les risques de destruction sont considérables. Il n'est pas impossible que la quasi-totalité des plantations soit détruite et certains préconisent à juste titre la diversification et la plantation d'essences locales moins communes, bien que l'on n'en ait pas encore trouvé qui soient aussi bien adaptées que le *Pinus caribaea* aux régions à talasiga. L'importance et l'avenir du projet de plantation de pinèdes sont l'une des inconnues du système d'utilisation des terres de l'île, de même que ses effets à la fois sur le drainage et les sols ; mais à ce jour, c'est le plus important projet entrepris, et qui se répercutera pratiquement sur l'ensemble de l'île.

7.4.4 - Les terres non cultivées

Nous avons noté plus haut que les trois cinquième de la superficie de Lakéba n'étaient pas cultivés. Le dixième des terres environ est couvert de forêts de types divers. La forêt dense est concentrée sur les hauteurs et l'amont des vallées à l'intérieur ainsi que sur les affleurements calcaires près de la côte. Les forêts de littoral et de marécage sont plus périphériques et sporadiques. La population locale utilise un peu de bois, des lianes et d'autres produits arboricoles.

Près de 2 % des terres sont utilisés par l'homme à d'autres fins que l'agriculture, notamment l'habitat et les services y afférant : villages, écoles et terrains annexes, routes et aérodrome. La plus vaste superficie de cette catégorie, dont une partie est constituée de bonnes terres agricoles est le complexe villageois Tubou-Levuka (voir Carte , et R.D. BEDFORD et M. BROOKFIELD, op. cit.).

Le reste de l'île (près de 50 %) n'est pas exploité — mais on se sert des roseaux et du pandanus (voivoi), qui font partie de la formation à talasiga, pour fabriquer des nattes. C'est là un pourcentage très élevé pour une île qui ne possède pas de ressources minérales connues et qui vit de son agriculture. Il ne serait pas irréaliste de transférer dans cette catégorie une partie des superficies cultivées en cocotiers puisque de vastes superficies couvertes de vieux arbres non productifs et mutilés sont laissées à l'abandon et complètement envahies par les *(voivoi), which form part of the talasiga complex, for mats. The percentage of unused land is strikingly high in an island with no known mineral resources and which is dependent on agriculture. It would not be unrealistic to transfer some of the coconut land to this category, as considerable areas of old non bearing and broken trees are neglected and totally overgrown ; this land is not made use of currently by man. A tiny part of the total unused percentage is swampland (see Table 14), but most of the remainder is talasiga land. There are plans to cover much of this with pines, but some areas, particularly the badly eroded areas, are to be left untouched. No major increase in cultivated areas seems likely at this stage. Many islanders in the past have migrated to the mainland or elsewhere, because of lack of cultivable land and lack of opportunity to produce a cash crop ; consequently as many Lakebans live on the mainland as on the island itself. Under current land management it seems unlikely that more than the present-day population of just over 2000 inhabitants could be supported on the land. Failing major changes, the migrants will remain on the mainland, while the present population will continue to engage in forms of land use which maintain some form of equilibrium with the island's many ecosystems.*

herbes. Les marécages représentent une partie infime des terres inutilisées (voir Tableau 14), presque tout le reste étant les terres à talasiga. Il est prévu d'en planter en pins une grande partie, mais il faut laisser telles quelles certaines zones, notamment celles qui sont très érodées. Aucune augmentation sensible des terres cultivées n'est donc prévue actuellement. Dans les temps anciens, beaucoup d'habitants ont émigré vers les îles principales ou ailleurs, faute de terres cultivables et de possibilités de produire une culture de rapport ; c'est pourquoi on y trouve autant de Lakebans que sur l'île même. Dans l'état actuel de l'exploitation des terres, il semble peu probable que l'île puisse nourrir une population supérieure à la population actuelle (un peu plus de 2000 habitants). A moins de profonds changements, les migrants resteront donc sur les îles principales, tandis que la population actuelle continuera d'appliquer des modes d'utilisation des terres qui maintiennent un certain équilibre avec les nombreux écosystèmes de l'île.

CONCLUSION

Un écosystème terrestre diversifié et original

Ainsi Lakéba apparaît comme une île volcanique ancienne, soumise à un climat tropical océanique, présentant un ensemble de faciès écologiques relativement diversifiés et originaux. Sa longue histoire géomorphologique est le facteur premier de cette différenciation. Elle a permis l'individualisation de sols très variés pour une aussi petite entité géographique. Cette variété pédologique est toutefois l'une des caractéristiques fréquente des milieux insulaires anciens. Elle s'accompagne pour certains des sols observés d'une grande originalité. Les acric ferralsols des plateaux bauxitiques, les ferrallic cambisols de pentes et les chromic luvisols des zones colluviales sont des faciès pédologiques peu décrits jusqu'à présent. Ils posent ainsi des problèmes de classification dans les systèmes internationaux tels que la Soil Taxonomy ou la classification française. Sur ces sols aux caractéristiques édaphiques variées, s'est individualisée une végétation diversifiée allant de la forêt dense aux formations savanicoles à Talasiga. Ces formations à Talasiga forment d'ailleurs des communautés végétales assez exceptionnelles de par leur pauvreté végétale et graminéenne en particulier. Elles expriment bien la fragilité d'un milieu complexe et souvent pauvre.

Un écosystème en équilibre instable

Ce milieu varié et original paraît actuellement soumis à des équilibres très instables. Le sol, le climat, la géomorphologie et la végétation sont intimement liés sur cette île. Ces liaisons semblent toutefois continuellement remises en cause par l'action de l'homme et des catastrophes naturelles. L'homme en particulier par l'action des feux, des défrichements pour les cultures ou des introductions végétales ou animales a eu et continue à avoir un impact très important sur une île d'une aussi petite taille. La végétation herbacée à forbes (Talasiga) dont l'origine antropique a été avancée, couvre actuellement près de 60 % de la surface de l'île. Plus du tiers des espèces végétales dénombrées sont introduites volontairement ou accidentellement. L'érosion a atteint sur les pentes, après passage des feux ou des défrichements une ampleur considérable. Elle l'emporte actuellement nettement sur l'altération des sols tronquant ainsi régulièrement les couches pédologiques et dégradant les sols par

CONCLUSION

A varied and unusual terrestrial ecosystem

Lakeba is thus an ancient volcanic island with a tropical oceanic climate which exhibits a series of relatively varied and unusual ecological facies. The most important factor in this differentiation is its long geomorphological history which has, for such a small geographical entity, enabled a great variety of soils to develop. Admittedly, pedological diversity is often characteristic of ancient island environments but, in this case, some of the soils found are highly unusual : the acric ferralsols on the bauxitic plateaux, the ferralic cambisols on the slopes and the chromic luvisols in colluvial areas represent rarely described pedological facies. For this reason they raise classification problems when using certain international systems such as the Soil Taxonomy or the French classification. These soils, with their differing edaphic characteristics, have given rise to a varied vegetation ranging from closed forest to savanna formations of the talasiga type. Indeed, the latter are fairly exceptional for their poverty of plant life and particularly gramineae but they give a good indication on the fragility of a complex environment of often low fertility.

The unstable equilibrium of the ecosystem

In this varied and unusual environment, the present equilibrium is highly unstable. Soil, climate, geomorphology and vegetation are closely interdependent, but these links are constantly under pressure from human interference and natural disasters. Man in particular, by burning vegetation, clearing land for cultivation or introducing plants or animals, has had and continues to have a major impact on such a small island. In fact, an anthropogenous origin is postulated for the herbaceous forb vegetation (talasiga), which now covers almost 60 % of the island, and more than a third of the plant species identified have been introduced, intentionally or unintentionally. Burning or clearance has exposed the slopes to now serious erosion, which at present predominates over the weathering of the soils, regularly truncating the soil horizons and degrading the soils by removing the most fertile humiferous horizons. What FOSBERG *(1965) said of island ecosystems in general certainly applies to Lakeba : « It is clear enough that the arrival of man has invariably increased, to some extent, the degree of instability of these systems ».*

enlèvement des couches humifères les plus fertiles. On peut ainsi reprendre pour Lakéba, les termes de FORSBERG (1965) au sujet des écosystèmes insulaires : « It is clear enough that the arrival of man has invariably increased, to some extent, the degree of instability of these systems ».

Le récent effort de reboisement sur les sols les plus pauvres de l'île et les modifications que ce reboisement pourrait apporter à l'équilibre de ce milieu, permettent toutefois d'espérer un renversement de ce processus de dégradation. Ce renversement ne pourra cependant être pleinement atteint que par une utilisation plus rationnelle des potentialités agricoles de cette île.

However, the recent reafforestation of these soils, the most infertile on the island, and the new equilibrium of the environment which such efforts could bring about encourage hope for a reversal of this trend towards degradation. Complete success will depend, however, on a more rational use of the island's agricultural potential.

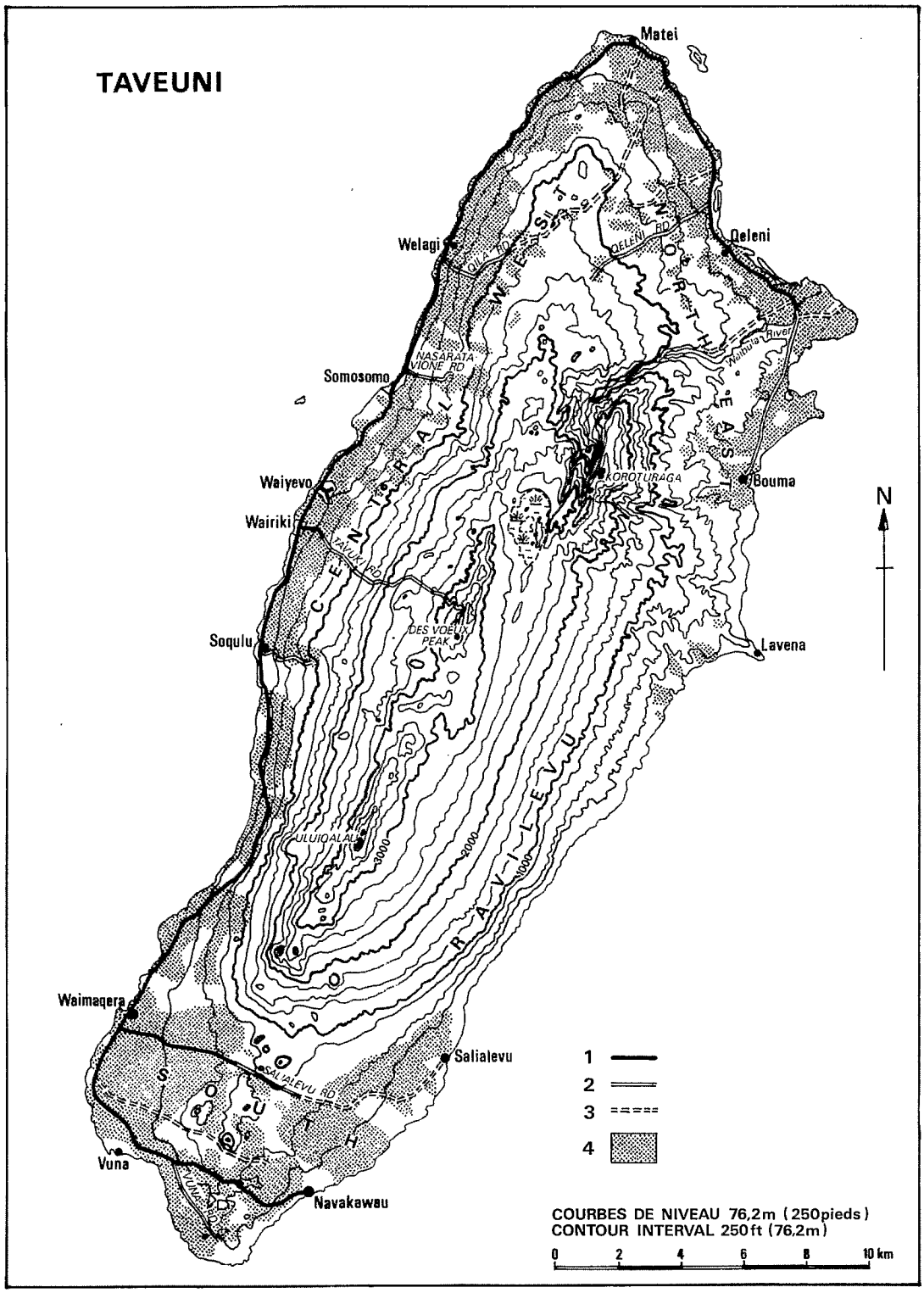


Figure 10 : Taveuni, carte générale
Taveuni general map

1 Routes construites avant 1960 - *roads built before 1960;* 2 Routes construites après 1960 - *roads built after 1960;* 3 Principales routes de plantation - *major estates roads (1975)* 4 Terres cultivées - *cultivated lands*

B - TAVEUNI :
une île volcanique très récente

Située au Nord-Est de l'archipel des Lau, de part et d'autre du 180° méridien et entre les latitudes Sud 16°40' et 17°, l'île de Taveuni diffère de la majorité des petites îles de l'Est des Fidji par sa taille et son substratum géologique. C'est la troisième île de l'archipel avec une superficie de 430 km2. Elle a une forme allongée suivant une direction Nord-Est Sud-Ouest, avec une longueur de 42 km pour une largeur de 11 à 12 km. C'est enfin une île volcanique très récente, ce qui donne à ses terres des caractères de fertilité inhabituels dans l'archipel. Seule l'île de Koro, dans le groupe de Lomaviti s'apparenterait à Taveuni d'après TWYFORD et WRIGHT. Sur cette île seuls deux secteurs, l'un au Nord, l'autre au Sud, ont fait l'objet d'études écologiques.

1 - GÉOLOGIE ET GÉOMORPHOLOGIE

TAVEUNI apparaît entièrement composée de roches volcaniques basiques, la majeure partie étant des basaltes à olivine d'âge récent. Les roches les plus anciennes, des trachytes, sont celles que l'on rencontre dans le secteur Nord-Est. Dans le Sud et le Sud-Ouest, ces roches sont partiellement recouvertes d'un manteau de cendres volcaniques récentes observable également par places dans la moitié nord.

Entre 200 et 300 cratères, disposés selon le grand axe de l'île, sont caractérisés par de fortes pentes dont une partie est recouverte de cailloux et de blocs de basalte. Les cônes de cendres volcaniques qui représentent les dernières manifestations du volcanisme sont très récents ; quelques-uns sont occupés par des lacs, tel celui de Tagimaucéa dans la moitié Nord de la chaîne centrale ; les autres sont secs jusqu'à une profondeur importante. Dans le Sud de l'île, le volcanisme le plus récent qui aurait été daté se situe en 1200 après J.C. (FROST, 1969) mais il n'est pas impossible que des volcans aient été encore en activité à une époque plus proche de la nôtre.

Du point de vue géomorphologique, le Nord et le Sud de l'île sont assez différenciés. La partie septentrionale de l'île, au nord d'une ligne Somoso-Pangaï, se présente comme l'extrémité de la chaîne volcanique. Les sommets peuvent atteindre 700 mètres. Les versants est et ouest présentent des pentes fortes et assez régulières comprises entre 15 et 30 %. La jonction entre la chaîne centrale et le Nord de l'île se fait, par contre, par l'intermédiaire d'une série de gradins ou plateaux séparés par des pentes faibles. A la pointe extrême de l'île, ces pentes s'adoucissent dans des secteurs actuellement occupés par des plantations de cocotiers. Dans ce paysage on peut noter la présence de quelques cônes volcaniques.

La partie sud de l'île apparaît plutôt comme une dorsale à faible pente parsemée de cônes volcaniques. Ces cônes, aux pentes fortes, atteignent une altitude de 300 à 420 mètres. Ils dominent un paysage sub-aplani qui s'étend jusqu'à la mer par l'intermédiaire de faibles pentes recouvertes de blocs de laves en quantité variable. A la base des cônes volcaniques on note le plus souvent la constitution, en zones de piedmonts, d'accumulations de lapillis et de scories.

B - TAVEUNI :
a very recent volcanic island

Situated north-east of the Lau group, astride the 180° line of longitude and between 16°40' and 17° south, the island of Taveuni differs from most of the smaller eastern islands of Fiji in size and geological substratum. With a surface area of 430 km2 it is the third largest island in the archipelago and its elongated form (42 km long by 11-12 km wide) runs from north-east to south-west. It is a volcanic island of very recent origin, a circumstance which gives its land an unusual level of fertility for the archipelago. According to TWYFORD and WRIGHT, only the island of Koro in the Lomaiviti group is comparable. On this island only two sectors, one in the north, the other in the south, have been subjected to ecological studies.

1 - GEOLOGY AND GEOMORPHOLOGY

Taveuni appears to be composed entirely of basic volcanic rocks, most of them being recent olivine basalt. The oldest rocks are trachytes, to be found in the north-east. In the south and south-west, and here and there in the north too, these rocks are partly buried under a layer of recent volcanic ash.

Running down the length of the island there are between 200 and 300 vents, their steep slopes strewn with rocks and blocks of basalt. The cinder cones of the volcanoes, the last remains of the most recent eruptions, are very recent. Some are occupied by lakes, such as Lake Tagimaucea in the northern part of the central chain, whereas others are dry to a considerable depth. In the south of the island, the most recent volcanic activity so far dated occurred at around 1200 A.D. (FROST 1969) but it is not impossible that some volcanoes were still active in more recent times.

From the geomorphological point of view, the north and south of the island differ quite sharply. The part lying north of a line drawn between Somoso and Pangai represents the end of the volcanic chain, whose summits can reach 700 metres. The eastern and western slopes are steep but fairly regular (between 15 % and 30 %). The central chain, on the other hand, is linked to the north of the island by a series of steps or plateaux separated by gentle slopes. At the end of the island these slopes become more and more gentle in the area now under coconut plantations though a few volcanic cones can be seen here and there.

The southern part of the island looks rather like a gently sloped spine with a scattering of steep volcanic cones 300 to 420 metres high. These dominate a flattened landscape which slopes gently towards the sea and is covered with varying quantities of lava blocks. In the piedmont zones at the foot of the volcanic cones, accumulations of lapilli and scoria are usually to be seen.

2 - CONDITIONS CLIMATIQUES

Comme l'ensemble des îles de l'archipel, Taveuni est affectée pendant la plus grande partie de l'année par des alizés du Sud-Est, mais avec des périodes de vent du Nord dans les mois d'été quand la zone de perturbation intertropicale s'étend au Sud de ces latitudes. L'influence dominante des alizés sur la distribution des pluies est très marquée sur cette île (fig. 11). Elle contraste avec les climats beaucoup plus homogènes observés sur les îles de petites dimensions.

2 - CLIMATIC CONDITIONS

Like all the islands in the archipelago, Taveuni is affected by the south-easterly trades for most of the year but with periods of northerly airflow during the summer months when the inter-tropical perturbation zone extends south of these latitudes. On this island the south-easterlies have a dominant influence on the distribution of rainfall (Fig. 11) and its climate contrasts with the much more homogeneous situation observed on the small islands.

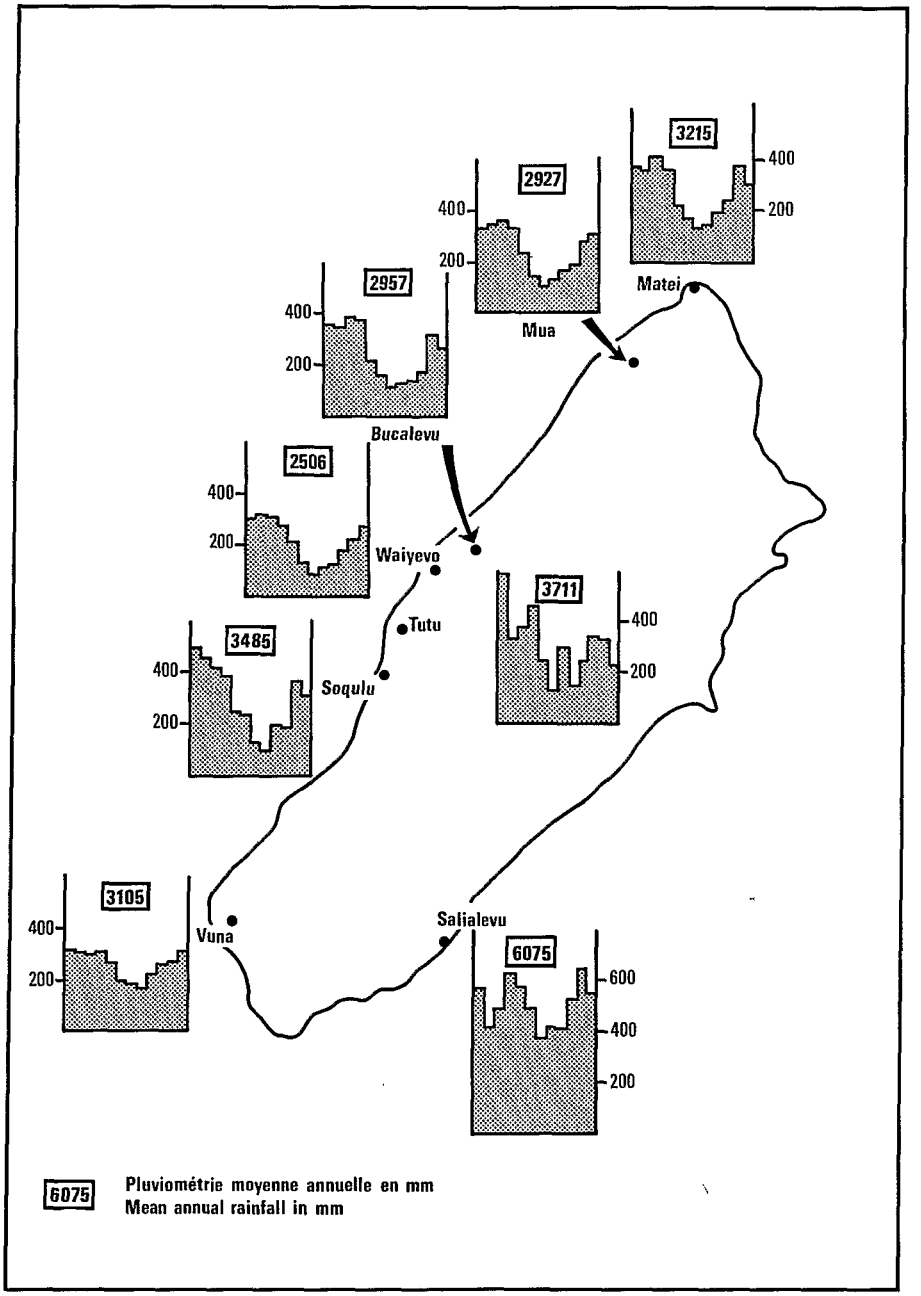


Figure 11 : Taveuni, pluviométrie
Taveuni, rainfall

Température

La température varie peu en moyenne entre les stations côtières de la région, et les variations diurnes et mensuelles sont faibles quel que soit l'endroit. La station de Matéi, dans le Nord de l'île a des températures moyennes annuelles de 26°1. Les premières observations de SEEMAN (1862), selon lequel, les côtes abritées des vents ont des conditions climatiques plus étouffantes que les côtes exposées aux vents, peuvent être facilement confirmées ; ces observations suggèrent aussi que l'altitude ne provoque que très rarement des variations de température entre le jour et la nuit.

Cyclones

Les hautes températures de la mer observées à Fidji ont certainement un effet sur la formation des cyclones tropicaux. La principale saison cyclonique se situe entre novembre et mars avec comme limites extrêmes octobre et mai. Certes les grandes îles de Vanua Levu et de Viti Levu peuvent protéger parfois les zones sous le vent, mais cela n'empêche pas que Taveuni et les îles du groupe Lau sont régulièrement touchées à certaines périodes (Mac LEAN, 1977).

Pluviométrie

Dans des conditions normales, les contrastes pluviométriques observés d'un point à un autre sont considérables. Les effets de la topographie sont d'une importance primordiale dans les grandes îles comme Taveuni. Salialevu, sur la côte au vent, est la station météorologique la plus humide des Fidji. Dans la chaîne centrale, il n'est pas impossible que la pluviosité moyenne annuelle soit de l'ordre de 10.000 mm. L'importance pour l'agriculture de données pluviométriques précises apparaît clairement lorsque l'on constate la grande hétérogénéité de ce paramètre sur cette île.

Le manque d'ensoleillement provoqué par une forte nébulosité, à certaines époques de l'année, peut être une limitation pour certaines cultures. Les difficultés rencontrées par les planteurs de canne à sucre à Taveuni découlent très probablement de cette absence d'ensoleillement.

Contraitement à ce qui se passe dans les petites îles, les périodes de sécheresse ne semblent pas jouer un grand rôle à Taveuni, sauf peut-être sur les côtes sous le vent, et spéciale-

Temperature

There is little variation in mean temperature between coastal stations in the region, and diurnal and monthly ranges are everywhere small. The station at Matei, in the north of the island, records annual means of 26°1. The early observations of SEEMAN (1862) to the effect that the sheltered leeward coasts have more oppressive climatic conditions than the exposed windward coasts can be readily corroborated, and observation also suggests that altitude very rarely effects variations in temperature between day and night.

Hurricanes

The high sea temperatures encountered in Fiji certainly have an effect on the generation of tropical cyclones. The main hurricane season is from November to March, with limits from October to May. It is true that the large islands of Vanua Levu and Viti Levu may sometimes protect areas lying to leeward but they do not stop Taveuni and the Lau islands from being regularly affected in certain periods (McLEAN, 1977).

Rainfall

Under normal conditions, local contrasts in observed rainfall are considerable. In the large islands such as Taveuni, topographic effects are of major importance. Salialevu on the windward coast, is the wettest weather station in Fiji and in the central chain it is quite possible that the annual mean reaches about 10 000 mm. The wide differences in rainfall recorded on the island underline the importance for agriculture of accurate data.

The lack of sun, due to heavy cloud cover at certain periods of the year, can prove a handicap for certain crops. It is highly probable that the problems encountered by sugar cane planters on Taveuni are the consequence of inadequate sun.

Unlike the small islands, drought does not appear to play a major role on Taveuni, with the possible exception of the windward side and particularly in the south where, owing to the highly porous ash mantle and the many lava tunnels, there are no surface streams at all. With an annual rainfall of between 3 000 and 5 000 mm, this presents no problem for the growth of well-rooted plants but can harm young crops since the dry weather quickly becomes hot.

Tableau 15. — Moyennes des précipitations reçues par Taveuni (mm)

Table 15. — Rainfall average on Taveuni (mm)

Situation *Location*	Années de mesure *Years of record*	Dernière année de mesure *Last recorded year*	Jan *Jan*	Fev *Feb*	Mar *Mar*	Avr *Apr*	Mai *May*	Juin *June*	Juil *July*	Août *Aug*	Sept *Sept*	Oct *Oct*	Nov *Nov*	Dec *Dec*	Total *Total*
Ile de Taveuni *Taveuni Island*															
Matei	19	1975	366	353	409	359	209	164	124	141	191	232	368	299	3215
Mua	44	1964	329	345	359	336	236	146	114	137	161	185	279	300	2927
Bucalevu	25	1964	37	352	382	372	215	158	112	127	136	169	317	260	2957
Waiyevo	53	1960	300	318	303	276	209	124	79	110	118	178	221	270	2506
Tutu	4	1975	583	332	375	460	242	129	295	147	246	340	333	230	3711
Soqulu	16	1964	486	459	418	381	246	239	124	92	190	187	361	301	3485
Vuna	40	1975	319	319	391	311	262	195	187	164	220	261	264	311	3105
Salialevu	23	1964	568	416	486	622	573	490	376	419	412	523	643	546	6075

Données : Les données concernant la pluviométrie journalière ont été rassemblées par le projet et ont été obtenues à SUVA et NANDI ; elles ont été complétées par les données de BROOKFIELD et HART (1966).

Data : Data collected by project from daily rainfall record held in SUVA and NANDI, supplemented by data from BROOKFIELD and HART (1966).

ment dans le Sud où le manteau de cendres très poreux et les nombreux tunnels dans les laves entraînent l'absence de cours d'eau à la surface. Sous une pluviométrie de 3000 à 5000 mm par an, ce n'est pas un problème pour la croissance des plantes bien enracinées mais cela peut éventuellement affecter les jeunes cultures car le temps sec devient rapidement chaud.

3 - SOLS

Les sols de Taveuni sont des sols d'origine récente de par leur substrat volcanique. TWYFORD et WRIGHT (1965) les avaient classés comme « Latosolic Soils », les considérant comme un ensemble pédologique homogène. Pour les différencier, ils utilisaient des critères tels que absence ou présence d'éléments grossiers, variations de la durée de la saison sèche, ou encore variations fines de la texture. Or il apparaît que ces sols sont soumis à un climat tropical perhumide permettant une évolution pédologique très rapide et plus différenciée que cela n'avait été noté jusqu'à présent.

3 - SOILS

The soils of Taveuni are of recent origin because of their volcanic substratum. TWYFORD and WRIGHT (1965) classed them as « Latosolic Soils », regarding them as pedologically homogeneous. To distinguish between them they employed criteria such as the presence or absence of coarse elements, variations in the length of the dry season or subtle differences in texture. It seems, however, that these soils are subject to a perhumid tropical climate which makes for very rapid pedological evolution and more differentiation than has been noted hitherto.

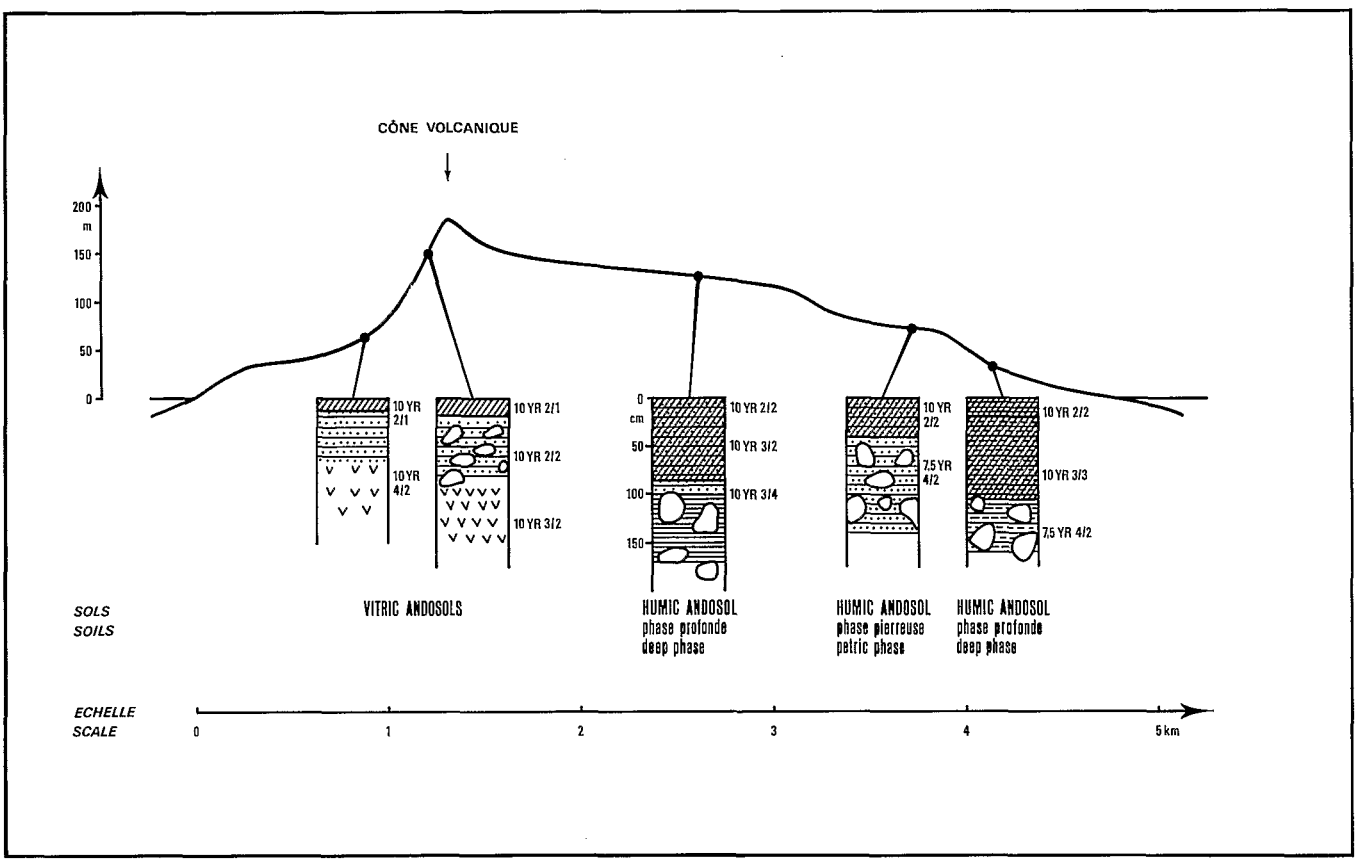


Figure 12 : Taveuni, toposéquence zone sud
Taveuni, toposequence southern part of the island

Une étude de détail de deux secteurs situés au Nord et au Sud de l'île a montré une évolution très différente des sols de ces deux secteurs. Dans le Nord de l'île, on observe des sols très évolués, des ferralsols ; ces sols sont très riches en sesquioxydes d'aluminium et de fer. Dans certaines positions topographiques privilégiées, des Cambisols ont pu être observés. Par contre,

Detailed study of two areas in north and south Taveuni showed that the soils had evolved very differently. In the north, very mature ferralsols are to be found, rich in sesquioxides of aluminium and iron, while cambisols were encountered in certain favourable topographic situations. In the south, on the other hand, the soils are young andosols whose weakly

dans le Sud, on observe des sols jeunes, des andosols, dont le complexe minéralogique est assez mal cristallisé et dominé par des allophanes. La pédogénèse sur Taveuni est très probablement liée à l'âge des matériaux volcaniques sur lesquels ils se développent.

Les Andosols

Comme tous les andosols (FAO, 1974), ceux de Taveuni sont caractérisés par une faible différenciation du profil, une porosité généralement très importante et fine entraînant une densité apparente faible, un toucher onctueux donnant l'apparence d'une texture limoneuse et une prépondérance d'allophanes parmi les minéraux argileux. Sur le terrain, la présence d'allophanes peut être mise en évidence par le test de FIELDES et PERROT (1966).

Deux types principaux d'andosols ont été observés sur Taveuni. Des mollic andosols, riches en matériaux volcaniques

crystallized complex is dominated by allophanes. The history of these soils is most probably related to the age of the volcanic material on which they have developed.

The Andosols

Like all andosols (FAO 1974), those of Taveuni are characterized by weak profile differentiation, a generally very high and fine-grained porosity accompanying low bulk density, a smeary, rather loamy consistence and a predominance of allophanes among the clay minerals. The presence of allophanes was detected on the spot by means of the test of FIELDES and PERROT (1966).

Two main types of andosols were found on Taveuni : mollic andosols, rich in little weathered volcanic matter and slightly unsaturated in exchangeable bases, and humic andosols more deeply weathered, rich in organic matter and with moderately unsaturated humiferous horizons.

Tableau 16. — Caractéristiques analytiques des andosols

Table 16. — Analytical results of the andosols

Type de profil/*Type of profile*	Mollic andosol			Humic andosol			
Echantillon/*Sample N°*	TAV 91	TAV 92	TAV 93	TAV 51	TAV 52	TAV 53	TAV 54
Profondeur en cm/*Depth in cm*	0-10	50-60	80-90	0-10	30-40	65-75	100-110
Horizons	A_1	(B)	(B) C	A_1	A_3	(B)	(B)
Argile %/*Clay*	21,5	18,4	20,9	48,5	19,6	14,5	20,5
Limons fins %/*Fine silt*	18,8	23,9	30,5	21,0	27,2	21,0	30,1
Limons grossiers %/*Coarse silt*	18,6	23,2	31,1	2,5	20,4	30,0	27,1
Sables fins %/*Fine sand*	16,1	19,4	10,6	0,5	10,1	18,6	8,9
Sables grossiers %/*Coarse sand*	7,3	10,1	6,8	0,1	4,4	6,1	5,3
H à pF 3 %	77,5	85,3	15	25	06	80,5	95,0
H à pF 4,2 %	59,7	41,5	60,1	95,3	79	58,1	82,6
C organique %/*Organic carbon*	9,5	2,6	—	15,9	9,61	5,36	3,9
N %	0,97	0,2	—	1,46	1,01	0,45	0,29
C/N	9,7	13,0	—	10,9	9,5	11,9	13,4
pH eau	6,1	6,6	6,8	5,5	6,1	6,7	—
Complexe échangeable/*Exchangeable complex*							
Ca^{++} en mé/100 g	23,2	12,1	14,1	15,4	12,4	7,05	6,50
Mg^{++} en mé/100 g	4,21	3,15	4,74	15,4	4,97	2,98	3,16
K^{+} en mé/100 g	0,51	0,25	0,21	0,27	0,05	0,01	0,02
Na^{+} en mé/100 g	0,33	0,40	0,45	0,77	0,32	0,17	0,22
C.E.C. en mé/100 g	52,0	39,5	49,0	67,9	53,0	42,9	45,3
Taux de saturation %/*B.S.*	54	40,2	39,6	46,8	33,3	23,8	21,8
Analyse totale triacide/*Triacid total analysis*							
Perte au feu % /*Loss on ignition*	23,2	10,9	14,6	44,1	25,3	17,1	16,2
Insoluble %	20,2	18,4	5,9	11,8	18,1	18,4	17,4
SiO_2 %	20,7	26,2	29,3	12,9	18,1	22,3	20,4
Al_2O_3 %	14,8	19,0	24,0	15,0	17,2	19,0	20,8
Fe_2O_3 %	9,8	11,5	14,3	9,25	10,8	11,5	13,0
TiO_2 %	1,50	1,95	2,50	1,70	1,85	1,95	2,55
MnO_2 %	0,22	0,25	0,25	0,21	0,21	0,21	0,18
CaO %	4,8	4,8	2,4	1,92	3,05	3,94	2,52
K_2O %	0,08	0,10	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05
P_2O_5 %	0,5	0,35	—	0,71	0,71	0,52	—

peu altérés et faiblement désaturés en bases échangeables et des humic andosols, plus profondément altérés, riches en matière organique et dont les horizons humifères sont moyennement désaturés.

Les mollic andosols se développent dans le Sud de Taveuni sur les cônes volcaniques et leurs pourtours. Sur les pentes des cônes, les sols dominants sont peu profonds, riches en lapillis et contiennent parfois des blocs de lave vésiculaire ; sur les piedmonts, les sols à texture plus fine et plus profonds deviennent les plus abondants. Ces lapillis qui donnent au sol une texture apparente sableuse sont le plus souvent déjà altérées.

Du point de vue morphologique, les premiers présentent un horizon humifère épais, d'une vingtaine de centimètres en moyenne, bien structuré, perméable, sans éléments grossiers. Lui succède un horizon de transition, mal structuré, très meuble, avec de nombreux graviers de lapillis, donnant une texture sablo-graveleuse, avec encore de nombreuses racines ; son épaisseur est variable. Enfin, un horizon composé presque exclusivement de graviers de lapillis, très perméable, où les racines pénètrent très facilement.

Par contre, les seconds (profil TAV9), plus évolués, se distinguent de précédents par la présence, sous l'horizon humifère, d'un horizon (B) plus structuré, à texture sablo-limoneuse, perméable, où l'on note la présence de graviers de lapillis par plages. L'horizon sous-jacent est formé d'un mélange de terre fine à texture sablo-limoneuse et de très nombreux graviers et petits cailloux de basalte, durs, altérés.

Les mollic andosols sont riches en matière organique et en azote. De pH faiblement acides, ils ont une capacité d'échange élevée et sont légèrement désaturés en bases. Parmi ces dernières, la potasse se trouve à un niveau assez élevé. Les analyses totales par attaque triacide révèlent la jeunesse des horizons supérieurs de ces sols, du fait des fortes teneurs en éléments insolubles et en cations alcalins et alcalino-terreux. Les données de l'analyse diffractométrique confirment les résultats du test FIELDES et PERROT en faisant apparaître la dominance des produits amorphes et des traces de montmorillonite.

Les humic andosols (profil TAV 5) sont observés, toujours dans le Sud de l'île, dans des secteurs à relief moins accidenté. L'influence des éruptions récentes est plus faible, et la texture de la terre fine est plus argileuse, au moins dans les horizons supérieurs ; elle devient en effet sablo-argilo-limoneuse à sablo-limoneuse en profondeur.

Du point de vue morphologique, le profil est plus développé avec l'apparition d'un horizon (B) plus épais où les lapillis sont absents, ou seulement présents par plages d'importance variable par contre, les cailloux de basalte sont très souvent nombreux. La structure reste peu nette ; la porosité est importante et la pénétration racinaire est bonne.

Parmi ces humic andosols, on a pu mettre en évidence des sols contenant un horizon graveleux à faible profondeur (petric phase), des sols dont la surface est parsemée de blocs de basalte (stony phase) et des sols profonds (deep phase). La répartition de ces phases est assez difficile à délimiter sur le terrain en dépit de nombreuses observations, car relativement aléatoire ; elle est en effet en partie reliée aux éruptions dont les coulées ont une importance et des directions malaisées à déterminer du fait du couvert forestier.

Ces sols sont très riches en matière organique fortement liée à la matière minérale ; des taux de 20 % dans l'horizon humifère et de 4 % entre 70 et 100 cm ont été régulièrement constatés. Ils sont bien pourvus en azote. De réaction faiblement acide, ils ont une capacité d'échange très élevée et sont moyennement désaturés en bases. Les teneurs en calcium et magnésium échangeables sont importantes ; celles en potassium sont par contre plus faibles en dehors de l'horizon de surface. Les

The mollic andosols have developed in the south of Taveuni on and around the volcanic cones. On the cone slopes, the predominant soils are shallow, full of lapilli and with occasional blocks of vesicular lava ; at the foot of the cones deeper and more fine-textured soils take over. In most cases the lapilli, which give the soil a sandy texture, are already weathered.

From the morphological point of view, the former have a deep humiferous horizon, averaging about twenty centimetres, which is well-structured, permeable and devoid of coarse elements. Next comes a transitional horizon, badly structured and very loose, with many lapilli gravels giving a sandy-gravel texture : there are still many roots and the thickness varies. Underneath this there is a horizon composed almost entirely of highly permeable lapilli gravels into which roots penetrate very easily.

The latter soils (profile TAV9), are more mature and differ from the previous type by the fact that the humiferous horizon overlies a more structured (B) horizon, permeable with a sandy-loamy texture and lapilli gravels in layers. The horizon underneath is composed of a mixture of fine soil with a sandy-loamy texture and a great many basalt gravels and stones which are hard and weathered.

The mollic andosols are rich in organic matter and nitrogen with weakly acid pH levels, a high exchange capacity and weak base unsaturation. Potassium levels are fairly high. Total analysis by triacid method reveals the youth of the upper horizons since there is a high proportion of insoluble material and of alkali and alkalin earth cations. The findings of diffractometric analysis confirmed the results of the FIELDES and PERROT test by bringing out the predominance of amorphous products and traces of montmorillonite.

Still in South Taveuni, the humic andosols are associated with areas of gentler slope. The effect of recent eruptions is weaker and the fine soil has a more clayey texture, at least in the upper horizons, but ranges from sandy-clayey-loamy to sandy-loamy lower down.

From the morphological point of view, the profile is more highly developed, with the appearance of a thicker (B) horizon in which lapilli are either absent altogether or present only in layers of varying thickness, but there are often large numbers of small basalt fragments. The structure is weak, porosity is high and root penetration good.

Of these humic andosols, some have a gravelly horizon at a shallow depth (petric phase), some have blocks of basalt littered over the surface (stony phase) and some are deep (deep phase). Even with many observations, it is very difficult to map the local distribution of these phases as they have no sharp boundaries. Their distribution is, in fact, partly due to volcanic eruptions, the size and direction of whose lava flows are not easy to determine because of the forest cover.

These soils are rich in organic matter closely bound to the mineral elements. Rates of 20 % in the humiferous horizon and of 4 % at depths of between 70 and 100 cm are regularly encountered. Nitrogen levels are high, pH weakly acid, exchange capacity very high and base saturation levels average. There is a lot of exchangeable calcium and magnesium but exchangeable potassium, except in the upper horizon, is in shorter supply. Phosphorus reserves are abundant and its assimilable fraction high (0.2 to 0.4 %). Triacid analyses again show a large proportion of insoluble matter, though less than for mollic andosols, which increases with depth, a sign that the soils are still young. However, the duration and conditions of evolution appear to differ from those of the previous group. The clay minerals are the same as for the mollic andosols.

Though the soils of Taveuni have developed under high and regular rainfall similar to that of the French Antilles (3 to 5 m/

réserves en phosphore sont très fortes et la fraction dite assimilable de cet élément est élevée (0,2 à 0,4 °/₀₀). Les analyses triacides indiquent encore une proportion importante d'insoluble, moins importante toutefois que pour les mollic andosols, et qui augmente avec la profondeur ; ceci est un critère de sols encore jeunes ; les conditions et la durée d'évolution apparaissent toutefois différentes de celles des sols précédemment étudiés. Les minéraux argileux sont identiques à ceux des mollic andosols.

Si on compare les andosols de Taveuni avec des sols semblables observés dans d'autres pays de la zone intertropicale (COLMET-DAAGE, 1965), on constate que, bien qu'ayant évolué sous une pluviométrie élevée et régulière très proche de celle mesurée aux Antilles (entre 3 et 5 mètres de précipitations annuelles), ces sols présentent une teneur en bases échangeables nettement plus élevée, se rapprochant des valeurs trouvées pour les Andosols perhydratés du Nicaragua (entre 15 et 40 me pour 100 g de sol). Ces derniers, se sont, quant à eux, développés avec une pluviométrie relativement modérée. Le cation dominant est le calcium mais le magnésium échangeable existe en quantité notable contrairement à ce que l'on observe aux Antilles.

Ceci a une grande importance pour la fertilité actuelle des sols de Taveuni et la poursuite, sans effet notable, d'un système cultural apparemment épuisant (taro essentiellement). Les pluies intenses et fréquentes ne provoquent pas en effet d'entraînement des bases, et notamment du magnésium, comme cela s'observe aux Antilles, et ceci quelle que soit la richesse totale des minéraux primaires ou des fractions fines.

Les Ferralsols et les sols associés

Dans le Nord de Taveuni, par contre, se développent des sols aux caractères ferrallitiques marqués. Les allophanes ont pratiquement disparu du complexe minéralogique pour être remplacés par des argiles de la famille de la kaolinite et par des sesquioxydes d'aluminium et de fer. Dans cet ensemble, on distingue des ferralic cambisols (profil TAV 59) aux caractères ferrallitiques encore peu accentués, riches en halloysite et métahalloysite, et des humic ferralsols (profils 14, 21 et 19) dans lesquels les sesquioxydes d'aluminium et de fer prédominent dans la fraction minérale du sol, avec une tendance à l'allitisation plus ou moins marquée comme le montre l'examen des profils cités en référence.

Contrairement aux andosols, l'interprétation des résultats de l'analyse totale par attaque triacide fait apparaître un pourcentage d'insoluble qui décroît avec la profondeur pour atteindre des valeurs inférieures ou voisines de 1 %. Cela indiquerait un certain rajeunissement de surface dû à des apports de produits volcaniques récents en faible quantité (LATHAM, DENIS, 1977). Les teneurs en bases totales, tout en étant encore importantes avec dominance du calcium et du magnésium, sont cependant très nettement inférieures à ce que l'on a observé pour les andosols.

Les ferralic cambisols sont peu profonds, l'horizon d'altération apparaissant dans le profil dès 60 cm. Ils ont été localisés dans l'extrême Nord de Taveuni, dans un paysage mollement ondulé au pied des dernières collines à pentes marquées qui prolongent la chaîne centrale formée de cônes volcaniques alignés Nord-Sud.

Les ferralic cambisols sont relativement moins riches en matière organique que les andosols mais les teneurs en azote restent élevées. Ce sont des sols faiblement acides, à capacité d'échange forte, moyennement désaturés en bases. Parmi celles-ci, la potasse est légèrement déficiente. Les réserves en phosphore total sont importantes, comparables à celles des andosols, mais la fraction dite assimilable est beaucoup plus réduite.

year), they clearly show a higher amount of exchangeable bases than other similar soils observed in the intertropics (COLMET-DAAGE 1965). In that way, they are close to some Nicaraguayen perhydrated andosols, which under moderate precipitations, have between 15 and 40 me of exchangeable bases per 100 g of soil. The dominant exchangeable cation is calcium but contrary to what is observed in the Antilles, there is a noticeable amount of magnesium.

This is of great importance regarding the present fertility of Taveuni soils as a continuous and apparently exhausting crop system (mainly taro) has not had any noticeable effect on it. The intense and frequent rains do not leach rapidly the bases and especially not magnesium, as it has been observed in the Antilles, regardless of the total richness of the primary minerals, or of the fine earth fraction.

Ferralsols and associated soils

In the north of Taveuni, soils with ferrallitic characters develop. Allophanes have nearly disappeared from the mineralogical complex to be replaced by clays of the family of Kaolinite and by aluminium and iron sesquioxides.

In this group one can find ferralic cambisols (profile TAV 69), rich in halloysite and metahalloysite, with not very pronounced ferralitic characters and humic ferralsols (profiles 14, 21 and 19) in which aluminium and iron sesquioxides predominate in the mineral fraction. These last soils are more or less allitisized as shown on the reference profiles.

In opposition with andosols the interpretation of the triacid total analysis results shows an insoluble percentage which decreases with depth and reaches figures lower than 1 %. This might indicate a rejuvenation of the soil due to aerial inputs of low quantities of recent volcanic materials (LATHAM, DENIS 1977). The total base content is very clearly lower than that of the andosols but it is still rather high and has a dominance of calcium and magnesium.

The ferralic cambisols

The ferralic cambisols are shallow, the weathered horizon appearing in the profile at 60 cm. They are found in the far north of Taveuni, in a gently undulating landscape at the foot of the last steepish hills which prolong the north-south central chain of volcanic cones.

The ferralic cambisols are somewhat poorer in organic matter than the Andosols but nitrogen levels remain high. They are slightly acidic, with a high exchange capacity and average base saturation. There is a slight deficiency in potassium, but total phosphorus reserves are high, comparable with those of the andosols, though the assimilable fraction is much lower.

Total analysis brings out a higher silica content than found in the other types of soil. This cannot be entirely due to the geological substratum as this is uniform in the north. The difference in constitution is most certainly related to the low-lying topographic situation of these soils. Their chemistry and mineral constitution make them resemble ferralsols but they do not have the same exchange capacity.

The humic ferralsols

The humic ferralsols are deep soils, with a maturely evolved clay-mineral fraction, but their profiles can contain large quantities of gravel, stones and some little weathered basalt blocks. They are rich in organic matter but the carbon/nitrogen ratio is sometimes high. These soils can be very acidic ; exchange capacity is fairly weak and base saturation levels high. Exchangeable cations are average in the humiferous horizon but very weak in the mineral horizons. Phosphorus reserves are good but the assimilable fraction, as in the cambisols, is very low.

Tableau 17. — Caractéristiques analytiques des ferralsols et cambisols

Table 17: — Analytical results of ferralsols and cambisols

Type de profil/*Type of profile*	Humic ferralsol			Humic ferralsol				Ferralic cambisol		
Echantillon/*Sample N°*	TAV141	TAV142	TAV143	TAV191	TAV192	TAV193	TAV194	TAV591	TAV592	TAV593
Profondeur en cm/*Depth in cm*	0-12	40-50	80-90	0-9	9-20	60-70	150-160	0-10	10-25	40-50
Horizons	A_1	(B)	(B) C	A_1	AB	B	BC	A_1	A (B)	B
Argile %/*Clay*	42,0	36,5	17,5	35,0	40,0	49,0	54,0	38,5	52,5	43,5
Limons fins %/*Fine silts*	24,5	35,5	35,5	40,5	33,0	32,5	14,0	41,0	30,5	31,5
Limons grossiers %/*Coarse silts*	4,1	6,4	16,4	2,9	7,4	2,9	10,3	2,1	2,2	3,9
Sables fins %/*Fine sands*	4,3	6,4	7,9	3,9	5,7	6,7	17,5	3,3	6,8	12,5
Sables grossiers %/*Coarse sands*	4,0	8,6	11,7	3,9	3,8	8,2	4,0	3,2	3,9	5,8
H à pF 3 %	05,2	65,8	41,5	71,4	54,6	55,9	60,4	58,4	49,3	49,8
H à pF 4,2 %	92,0	55,0	25,8	56,6	41,0	47,2	47,2	46,7	42,9	43,9
C organique % /*Organic carbon*	11,9	2,88		7,0	2,88	0,41		6,29	2,2	1,35
N %	0,92	0,17		0,65	0,22	0,12		0,49	0,20	0,11
C/N	12,9	16,9		10,8	13,0			12,8	11,0	12,3
pH eau	4,4	5,1	5,2	5,1	5,4	5,8	6,1	5,9	5,9	6,7
Complexe échangeable/*Exchangeable complex*										
Ca+ + en mé/100 g	4,6	1,0	1,0	9,4	4,6	3,3	5,9	11,5	4,4	3,8
Mg+ + en mé/100 g	2,4	0,2	0,2	4,9	2,5	1,4	2,2	8,1	8,0	6,6
K+ en mé/100 g	0,5	0,05	0,05	0,9	0,05	0,1	0,1	0,2	0,05	0,05
Na+ en mé/100 g	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,9	0,4	0,3	0,3
C.E.C. en mé/100 g	30,0	11,1	11,1	32,4	20,6	12,1	17,4	32,3	26,0	26,4
Taux de saturation %/*B.S.*	26,6	15,5	17,1	48,5	37,3	44,6	52,3	62,5	48,8	40,5
Analyse totale triacide/*Triacid total analysis*										
Perte au feu % /*Loss on ignition*	39,6	26,9	26,7	26,9	19,8	18,5	16,1	21,4	17,2	15,9
Insoluble %	2,4	1,3	0,2	1,55	3,0	0,25	0,20	7,2	0,6	0,2
SiO_2 %	3,7	4,8	1,9	18,2	21,5	19,1	24,9	25,0	30,1	31,5
Al_2O_3 %	28,8	36,3	41,5	26,3	29,0	34,4	31,9	21,8	27,0	28,5
Fe_2O_3 %	18,0	23,8	23,5	18,5	19,3	22,3	21,5	17,8	19,8	19,30
TiO_2 %	3,8	4,5	4,6	3,0	3,15	3,45	3,1	3,35	3,55	3,35
MnO_2 %	0,16	0,13	0,14	0,27	0,35	0,29	0,25	0,48	0,50	0,38
CaO %	0,36	0,17	0,14	0,45	0,50	0,24	0,30	1,00	0,42	0,07
K_2O %	0,06	0,04	0,02	0,12	0,08	0,05	0,04	0,13	0,12	0,11

L'analyse totale fait ressortir une teneur en silice supérieure à celle observée dans les autres types de sols. Ceci ne peut s'expliquer seulement par la nature du substrat géologique, étant donné son homogénéité dans le secteur nord. Cette différence de constitution est très certainement liée à la position topographique basse de ces sols dans le paysage. Pour leurs caractères chimiques et par leur constitution minéralogique, ces sols se rapprochent des ferralsols, ils en diffèrent toutefois par leur capacité d'échange.

Les humic ferralsols sont des sols profonds, à fraction argileuse très évoluée, mais pouvant contenir dans leurs profils de nombreux graviers, cailloux et parfois blocs de basalte peu altérés. Ils sont riches en matière organique, mais leur rapport C/N est parfois élevé. Ce sont des sols qui peuvent être très acides. Leur capacité d'échange est assez faible et ils sont fortement désaturés en bases. Les teneurs en cations échangeables, moyennes dans l'horizon humifère, sont très faibles

Two humic ferralsols sub-types may be distinguished : rocky soils have developed in the steep and very steep areas at the northern end of the central volcanic chain and around isolated cones, and deep soils with occasional stony patches in their profiles are found on the more undulating terrain surrounding the chain. These humic ferralsols, when not too rocky or on slopes that are too steep, have undoubted agronomic potential, but are probably much more fragile than the andosols.

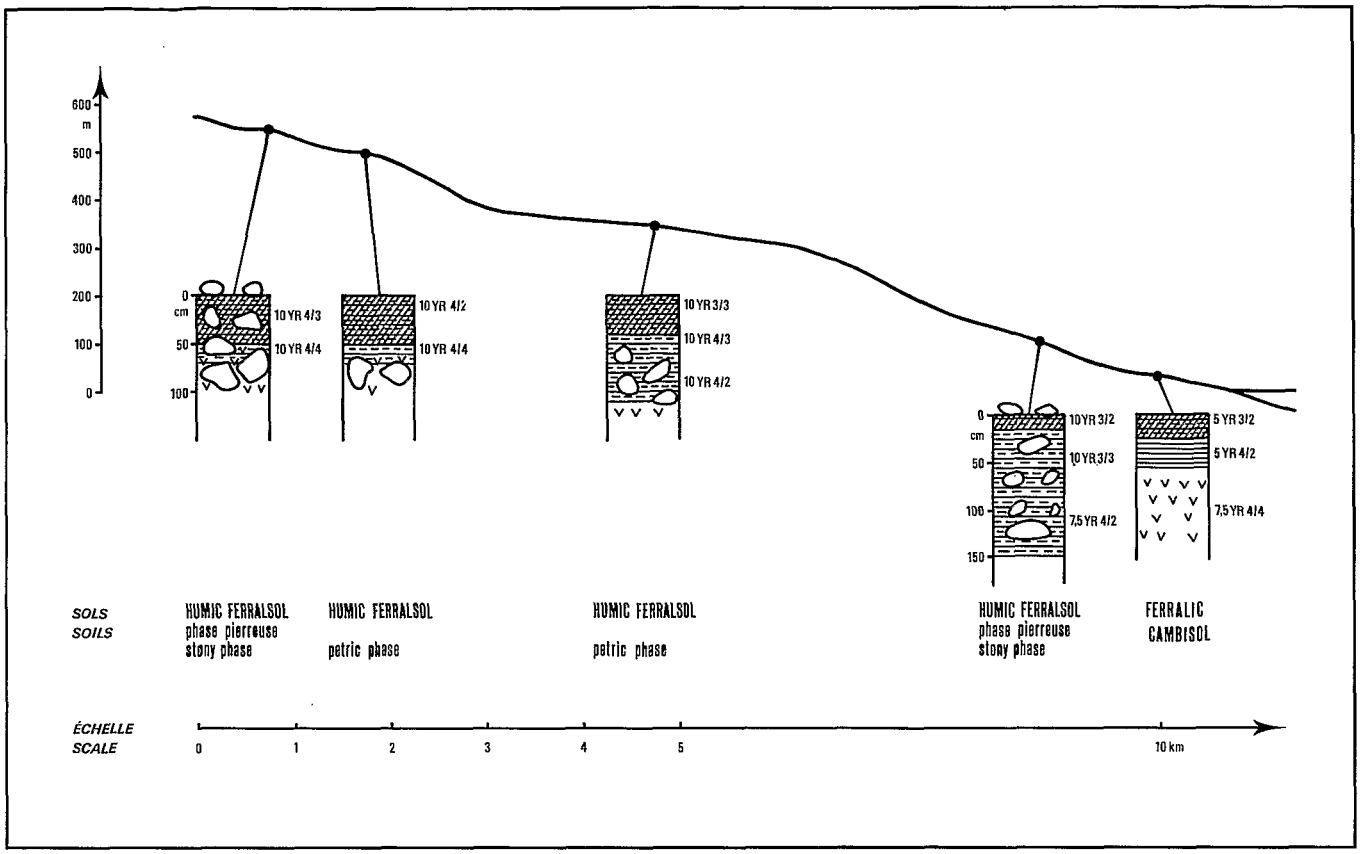


Figure 13 : Taveuni, toposéquence zone nord
Taveuni, toposequence northern part of the island

dans les horizons minéraux. Les réserves en phosphore sont importantes. La fraction dite assimilable de cet élément, comme pour les cambisols, est très réduite.

Parmi les humic ferralsols, on peut distinguer deux sous-ensembles : des sols rocheux se développant dans les paysages accidentés à très accidentés du prolongement septentrional de la chaîne volcanique centrale ou sur des cônes isolés, et des sols profonds avec parfois des passées caillouteuses dans leurs profils sur les reliefs plus ondulés du pourtour de la chaîne. Ces humic ferralsols, lorsqu'ils ne sont ni trop rocheux, ni situés dans des reliefs trop accidentés ont des possibilités agronomiques certaines. Ce sont toutefois des sols probablement beaucoup plus fragiles que les andosols.

4 - FERTILITE DES SOLS ET POSSIBILITES D'UTILISATION

Dans une reconstitution de l'histoire de l'agriculture de Taveuni, H.C. BROOKFIELD (1978) a montré combien cette île avait fait l'objet de multiples espoirs au point de vue agricole. En dehors des cultures vivrières traditionnelles, tour à tour le coton, le café, la canne à sucre et le cocotier ont eu leur ère d'extension sur cette île réputée si fertile. D'autres spéculations ont aussi été envisagées comme le cacaoyer ou le palmier à huile (UNESCO/UNFPA 1977). L'éventail de la production actuelle se limite toutefois à trois productions principales : le coprah, les

4 - FERTILITY AND POTENTIAL

In his reconstruction of the history of agriculture on Taveuni, H.C. BROOKFIELD (1978) showed what high and varied hopes, farmers had placed in this island. Apart from the traditional food crops, cotton, coffee, sugar cane and coconuts have all had their periods of expansion on the island, which is reputed to be so fertile. Other possible crops have also been considered, such as cocoa-trees and oil palms (UNESCO/UNFPA, 1977), but agricultural activity is at present confined to three main products — copra, food crops including Yaqona (Piper methysticum) *and beef.*

cultures vivrières en y incluant le yaqona *(Piper methysticum)* et la production de viande bovine.

Dans ce chapitre la réalité de la fertilité de sols de cette île va être testée en fonction des caractéristiques agrologiques des sols et de leurs principales aptitudes culturales.

4.1 - Qualités agrologiques

a) Exploration du sol par les racines - alimentation hydrique

Les sols de Taveuni sont généralement facilement pénétrables par les racines (ferralsols, andosols). Seuls les cambisols, qui couvrent moins de 5 % de la surface étudiée, présentent une limite à ce sujet. Pour les autres sols, la texture souvent sableuse ou caillouteuse des horizons d'altération riches en blocs, en scories ou en lapilli permet une facile pénétration des racines en profondeur. Une restriction peut toutefois apparaître pour certains sols qui contiennent une grande quantité de blocs de roche.

Cette grande profondeur associée à une forte capacité du sol pour l'eau, en particulier dans les andosols, favorise la constitution de réserve hydrique potentielle élevée. Ceci malgré une très forte rétention du sol pour l'eau au point de flétrissement (60 à 90 % pour les horizons de surface des andosols). Cette forte rétention du sol pour l'eau serait liée à la présence d'argile de type allophanique et de teneurs importantes en matière organique. Mais cette forte humidité du sol au point de flétrissement est compensée par des valeurs très élevées à la capacité au champ. Les mesures d'humidité effectuées en saison pluvieuse indiquent des valeurs comprises entre 80 et 120 % d'eau dans les horizons supérieurs des andosols et entre 50 et 70 % pour les ferralsols, ce qui laisse une importante réserve d'eau utile. Il semble donc que sur cette île, soumise à une pluviométrie intense et régulière, peu de problèmes de sécheresse se posent contraitement à ce que l'on a pu noter sur Lakéba.

b) Alimentation minérale des plantes

Les principaux facteurs entrant dans le calcul de la fertilité des sols (texture, instabilité structurale, teneurs en carbone, en azote, en calcium et en potassium échangeable, capacité d'échange, taux de saturation, pH et richesse en phosphore) sont présentés, en ce qui concerne les horizons humifères dans le tableau 18.

Fertilité naturelle des sols

D'une façon générale la fertilité des sols de Taveuni est élevée. Ceci est bien exprimé par des teneurs en matière organique importante (plus de 15 % pour les andosols et plus de 8 % pour les ferralsols). Cette matière organique est fortement liée à la matière minérale comme c'est le cas dans la majorité des andosols (QUANTIN 1972) et ne diminue que lentement après mise en culture (cf. chapitre I). Dans les échelles de fertilité de DABIN (1963) qui comparent les teneurs en azote aux teneurs en phosphore, les andosols apparaissent comme exceptionnellement fertiles à très fertiles (fig. 14). Cette fertilité naturelle ressort d'ailleurs très nettement de l'intense activité biologique des sols mesurée par la méthode de BACHELIER (1968).

Carences et déséquilibres

L'étude des différents paramètres de fertilité de ces sols et une rapide observation des plantes cultivées ne montrent pas de signes évidents de carence ou de déséquilibre sur cette île. Un début de toxicité aluminique pourrait apparaître pour certaines plantes sensibles sur les humic ferralsols acides. Mais aucun symptôme n'a été observé au champ. Par ailleurs des défi-

This chapter sets out to prove or disprove the island's reputation for fertility by examining the agrological qualities of its soils and the main crops for which they are suitable.

4.1 - Agrological qualities

a) Root penetration of the soil - availability of water

Generally speaking, roots find it easy to penetrate the soils of Taveuni (ferralsols, andosols). Only the cambisols, which cover less than 5 % of the surface studied, limit root growth. In other soils, the frequently sandy or stony texture of the weathering horizons rich in blocks, scoria or lapilli make it easy for roots to explore deep down, except perhaps in certain soils where there are many large slabs of rocks.

The soil's considerable depth, coupled with its great capacity to absorb water — particularly in the case of andosols — assists the constitution of large potential hydrous reserves, in spite of the soil's very high water-retention to wilting point (60 to 90 % for the surface horizons of andosols). This high water-retention might be due to the presence of allophane clay and large amounts of organic matter. But the great humidity of the soil, to wilting point, is counterbalanced by the very high values in field capacity. Measurements of moisture-content in the rainy season indicated between 80 and 120 % of water in the upper horizons of andosols and between 50 and 70 % for ferralsols, thus leaving large stocks of usable water. This island therefore, with its heavy and regular rainfall, unlike Lakeba, rarely faces the problem of drought.

b) Mineral nutrients for plant growth

The main factors involved in determining the fertility of soils (texture, structural instability, amount of carbon, nitrogen, calcium and exchangeable potassium, exchange capacity, saturation rates, pH readings and phosphorus content) are presented for the humiferous horizons in Table 18.

Natural fertility of the soils

Generally speaking, the Taveuni soils are very fertile. This is made clear by the high content of organic matter (over 15 % for andosols and over 8 % for ferralsols). The organic matter is closely associated with mineral elements, as in the majority of andosols (QUANTIN, 1972), and only decreases slowly when put under cultivation (cp. Chapter I). In Dabin's scale of soil fertility (1963), which compares nitrogen content with phosphorus content, the andosols come out as exceptionally fertile to very fertile (Fig. 14). Their natural fertility is also clearly evidenced by their intense biological activity, as measured by the method of BACHELIER (1968).

Deficiencies and disequilibria

Study of the various fertility parameters of these soils and a rapid examination of the plants cultivated reveal no manifest signs of deficiency or disequilibrium on this island. Certain sensitive plants may exhibit the first signs of aluminium toxicity on the acidic humic ferralsols, but no symptoms were noted in the field. Potassium deficiencies could affect root crops on ferralsols and cambisols if they were grown on the same site over several years but, for the time being, the soils analysed appear to have sufficient stocks of this mineral.

On the other hand these soils, and particularly the andosols, were found to be extremely rich in phosphorus. Readings close to 5 % were obtained in all areas. The ferralsols differ from the andosols, however, in their capacity for assimilation : for the andosols, the Olsen reaction made it possible to extract from 150 to 443 ppm of P_2O_5, that is, from 3.5 to 8 % of the total

Tableau 18. — Contraintes édaphiques des sols de Taveuni

Table 18. — Edaphic constraints of Taveuni soils

	Mollic andosols	Humic andosols	Humic ferralsols	Ferralic cambisols
Profondeur moyenne utile en centimètre/ *Usable average depth in cm*	40 à 70 cm	70 à 120 cm	ei à 120 cm	30 à 50 cm
Réserve hydrique/*Water retention capacity* $Q = \sum_{o}^{h+15} \frac{da\,(H0-H1)}{10}\ z$ en mm	80 - 95	150 - 230	80 - 130	—
Caractéristiques physico-chimiques/*Physico-chemical characteristics* (horizon A_1)				
Texture / *Texture*	S.L. à S.A.L.	S.A.L. parfois A	A.L. à L.A.	A.L. à L.A.
Instabilité structurale / *Structural instability*	0,03 à 0,09	*sometimes A*	0,03 à 0,10	—
Carbone en % / *Carbon*	9.6 à 18.1	12.8 à 14.0	(.9 à 7.3 (exceptions 11.7-12.6)	5.0 à 7.6
Azote en % / *Nitrogen*	1.0 à 1.73	1.15 à 1.46	0.4 à 0.45 (exceptions 0.92-0.95)	0.4 à 0.52
pH eau / *pH water*	5.9 à 6.1	5.5 à 6.3	4.8 à 5.5	5.2 à 5.9
Ca^{++} ech. en me/100 g	23.2 à 37.6	9.1 à 16.0	2.12 à 9.37	10.1 à 15.2
K^{+} ech. en me/100 g	0.51 à 1.87	0.18 à 0.37	0.10 à 0.89	0.15 à 2.0
Capacité d'échange / *Exchange capacity*	52.0 à 79.2	53.2 à 67.9	16.2 à 32.4	32.3 à 39.2
Taux de saturation en % / *Base saturation*	54 à 63	22 à 44	11 à 54	58 à 62
P_2O_5 total en 0/00 / *Total P_2O_5 0/00*	4.98 à 5.44	5.33 à 7.07	2.22 à 5.66	2.36 à 5.38
P_2O_5 assimilable en 0/00 / *Assimilable P_2O_5 0/00*	0.20 à 0.31	0.34 à 0.40	0.06 à 0.17	0.06 à 0.44
Activité biologique/*Biological activity* en mg CO_2/m^2/heure (saison des pluies)/*(rainy season)*	160-180		220 à 270	

ciences en potasse pourraient se manifester sur les ferralsols et cambisols pour des cultures à racines si elles étaient répétées sur un même site plusieurs années. Mais les sols analysés semblent pour l'instant suffisamment pourvus en cet élément.

Ces sols et notamment les andosols se sont par contre révélés extrêmement riches en phosphore. Des teneurs proches de 5 °/oo ont été relevées pour l'ensemble de ces terres. Une différence apparaît entre les ferralsols et les andosols en ce qui concerne l'assimilabilité de ce phosphore. Dans les andosols, le réactif OLSEN a permis d'extraire de 150 à 443 ppm de P_2O_5 soit de 3,5 à 8 % du phosphore total. Dans les ferralsols et les cambisols ces teneurs ont par contre été nettement plus faibles (37 à 226 ppm soit de 1,1 à 5,4 % du P_2O_5 total).

Cette distinction entre andosols et ferralsols est confirmée par la répartition des formes de phosphore séparées par la méthode Chang et Jackson (DABIN, 1963). Le tableau 19 montre pour ces différents sols les proportions de cet élément liées au calcium, à l'aluminium, au fer, à la matière organique ou considéré comme inassimilable.

Une première constatation à la lecture de ce tableau vient de l'importance de la fraction inassimilable du phosphore dans les cambisols et dans les ferralsols. Cette fraction est supérieure à 50 % du total et peut atteindre 75 %. Par opposition dans les andosols elle représente rarement plus du tiers de la réserve.

La fraction du phosphore liée à la matière organique apparaît au contraire très importante dans les andosols où elle représente plus de 50 % du phosphore total. Il est probable toutefois, étant donné les liaisons intimes existant entre la matière organique et les allophanes dans les andosols, que cette fraction phosphorique puisse difficilement être mise à la disposition des plantes.

phosphorus, whereas the ferralsols and cambisols showed much lower levels (37 to 226 ppm or 1.1 to 5.4 % of total P_2O_5).

This distinction between andosols and ferralsols is corroborated by the distribution of the forms of phosphorus separated by the method of CHANG and JACKSON (DABIN, 1963). For these soils, Table 19 sets out the proportion of phosphorus associated with calcium, aluminium, iron and organic matter, or regarded as unassimilable.

In this Table, the first point to note is the large unassimilable fraction of phosphorus in the cambisols and ferralsols : it is over 50 % of the total and can reach 75 %. However, it seldom exceeds a third of the reserve in the case of andosols.

On the other hand, the fraction of phosphorus associated with organic matter appears to be very large in andosols, where it accounts for over 50 % of total phosphorus but, in view of the close links between organic matter and allophanes in these soils, it is difficult to free for plant growth.

Lastly, the fractions of phosphorus associated with calcium and aluminium ; probably the easiest for plants to assimilate, are much more abundant in the andosols than in the ferralsols. Indeed, they account for most of the assimilable phosphorus that can be extracted by the Olsen reaction.

c) Erosion hazards

Taveuni, as a mountainous island, is subject to major risks of erosion which, being essentially dependent on the slope, are of a different order in the two parts of the island studied. Slopes in the south, except on the volcanic cones, are usually less than 15 to 20 % and, once under cultivation, show few signs of erosion even on the steep sides of the cones. This is probably chiefly due

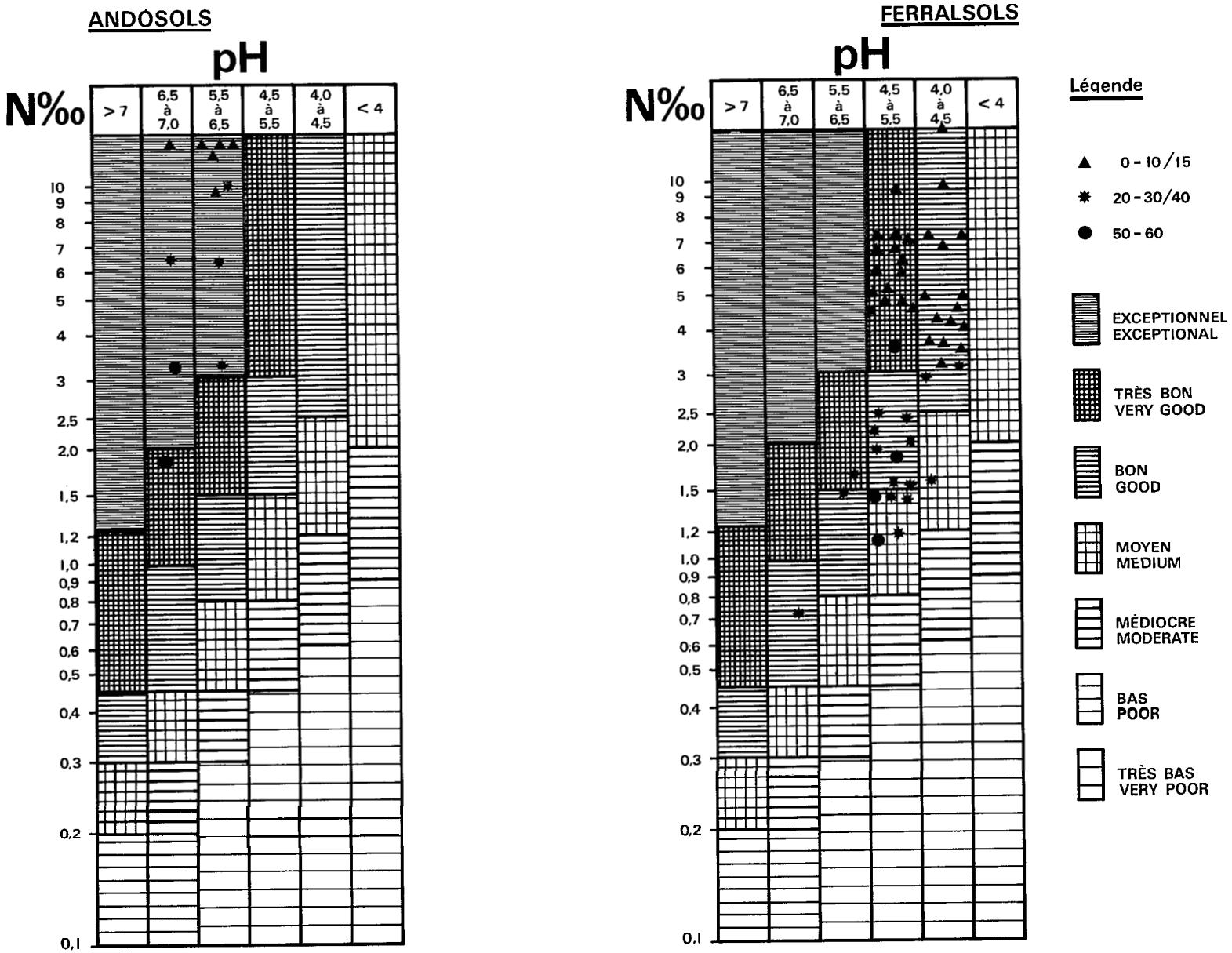


Figure 14 : Taveuni échelles de fertilité des sols
Taveuni scale of soil fertility

Tableau 19. — Les différentes formes du phosphore

Table 19. — The different forms of phosphorus

Type de sol/*Type of soil*	Mollic andosols		Humic andosols			Ferralic cambisols		Humic ferralsols			
Echantillon/*Sample N°*	11	12	41	42	131	591	592	141	142	191	192
Profondeur en cm/*Depth in cm*	0-10	10-22	0-15	20-30	0-14	0-10	10-25	0-12	40-50	0-9	9-20
Horizon	A_1	A_3	A_1	(B)	A_1	A_1	A (B)	A_1	(B)	A_1	A B
P_2O_5 total en ppm (Extraction H N O_3)	4982	4410	5370	3740	5330	4860	3520	5060	3090	5660	4190
P_2O_5 assimilable en ppm (méthode Olsen)	346	158	371	251	443	70	37	162	125	172	226
% P_2O_5 Total	7,0	3,6	6,9	6,7	8,3	1,4	1,1	3,2	4,1	3,1	5,4
Fractionnement du phosphore/*Fractionation of phosphorus* (méthode Chang et Jackson)											
P_2O_5 soluble	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
P_2O_5 lié au Ca^{++} en ppm	282	232	264	264	465	323	112	94	67	146	279
» % P_2O_5 Total	5,7	5,3	4,9	7,1	8,7	6,7	3,2	1,9	2,2	2,6	6,4
P_2O_5 lié à Al^{+++} en ppm	215	88	286	130	347	37	34	69	48	59	80
» % P_2O_5 Total	4,3	2,0	5,3	3,5	6,5	0,8	1,0	1,4	1,6	1,0	1,9
P_2O_5 lié à Fe^{+++} en ppm	125	52	179	119	109	134	283	471	319	124	470
« % P_2O_5 Total	2,5	1,2	3,3	3,2	2,1	2,8	8,0	9,3	10,3	2,2	11,2
P_2O_5 lié à la matière organique ppm	2760	3156	3666	1942	3085	1853	778	2330	298	1113	525
» % P_2O_5 Total	55,4	71,5	68,3	51,8	57,9	38,0	22,1	46,0	9,6	19,7	12,5
P_2O_5 inassimilable ppm	1600	882	975	1285	1324	2513	2313	2096	2358	4218	2845
» % P_2O_5 Total	32,1	20,0	18,2	34,4	24,8	51,7	65,7	41,4	76,3	74,5	68,0

Enfin les fractions liées au calcium et à l'aluminium qui seraient les plus facilement cessibles à la plante, sont bien mieux représentées dans les andosols que dans les ferrasols. Elles constituent d'ailleurs la majeure partie du phosphore asimilable, extractible au réactif Olsen.

c) Les risques d'érosion

Les risques d'érosion sont grands dans cette île montagneuse qu'est Taveuni. Ces risques liés essentiellement à la pente sont toutefois différents entre les deux secteurs de l'île étudiés. Dans le Sud les pentes sont généralement inférieures à 15 à 20 %, exception faite des cônes volcaniques. Peu de traces d'érosion sont notables même sur les fortes pentes des cônes après mise en culture. Il est probable que la forte stabilité structurale des andosols et la rapidité avec laquelle le couvert végétal se reconstitue dans ce secteur très arrosé en soient les principaux responsables. Dans le Nord, par contre, les pentes sont nettement plus accentuées, à l'exception du plateau de Languiloa. Des ravines, indiquant une forte sensibilité à l'érosion sont reconnaissables sur les photographies aériennes. Les pistes ouvertes sur pente sont par ailleurs le siège d'érosion intense. Ceci vient vraisemblablement de la plus faible stabilité structurale du sol, d'un climat plus contrasté et d'importants défrichements qui ont eu lieu au début du siècle pour les cultures du coton et de la canne à sucre.

d) Les possibilités de mécanisation

Les possibilités de mécanisation sur cette île sont limitées par deux facteurs :

— la pente et donc les risques d'érosion comme cela vient d'être montré

— la pierrosité du terrain.

Une majorité des sols de l'île contient en effet de gros blocs et des cailloux de basalte en surface et dans les profils pédolo-

to the great structural stability of the andosols and the speed with which the vegetation cover builds up again in this area of very high rainfall. In the north, on the other hand, except for the plateau of Languiloa, the slopes are a lot steeper. Aerial photographs reveal the presence of ravines indicating a strong liability to erosion. The dirt roads out into the slopes are also the scene of intense erosion, in all likelihood owing to the weaker structural stability of the soil, a more contrasted climate and the large areas cleared at the beginning of the century for the cultivation of cotton and sugar cane.

d) Possibilities of mechanization

On this island, two factors limit the possibilities of using machines :

— the slopes, and hence the danger of erosion as shown above

— the stoniness of the land.

Most of Taveuni's soils contain large basalt blocks and stones on the surface and in the pedological profiles. The soils classed as stony phase andosols and ferralsols cover more than 55 % of the areas mapped. Thus only the deep andosols and ferralsols without too many coarse elements and the humic cambisols are suitable for mechanized cultivation. It should be noted that, as on Lakeba, mechanical cultivation of the soil is still virtually unknown.

e) Agrological value

Our study of these two areas on Taveuni thus bears out the island's reputation for great natural fertility. However, the mineral nutrition of the soil should continue to be monitored, particularly as regards the potassium requirements of tubers and the dangers of aluminium toxicity for the acidic ferralsols in the north. There seems little risk of erosion for the time being, but it could become more serious if the current trend of clearing the steep slopes gathers momentum and if machines are

giques. Ces sols cartographiés en andosols et en ferralsols à phase pierreuse ou caillouteuse couvrent plus de 55 % des surfaces cartographiées. Seuls les andosols et ferralsols profonds et sans trop d'éléments grossiers et les humic cambisols sont donc susceptibles d'être travaillés mécaniquement. Il faut toutefois remarquer que pour l'instant le travail mécanique du sol est pratiquement inconnu comme à Lakéba.

employed for cultivation without taking precautions though, in many cases, their use might well be hampered by the presence of basalt blocks and stones on the surface and in the soil profiles. The agrological qualities are summed up in Table 20.

Table 20. — Agrological value of Taveuni soils

Soils	*Edaphic limitations*	*Morphodynamic limitations*	*Investment required*	*Agrological value*
Thionic Fluvisols	*Saline*	—	—	*Very low*
Rendzinas	*Sandy texture*	*Liable to seawater*	*Mechanization possible*	*Moderate*
Mollic Andosols, medium slopes	—	—	*Mechanization possible. Fallowing essential*	*Good*
Mollic Andosols, steep slopes	—	*Liable to erosion*	—	*Moderate*
Deep Humic Andosols on gentle slopes	—	—	*Mechanization possible*	*Exceptional*
Stony Humic Andosols on steep slopes	—	*Very liable to erosion*	—	*Rather low*
Stony Humic Andosols level zones	—	—	—	*Rather low*
Deep Mollic and Humic Andosols on lapilli, in undulating areas	—	—	*Mechanization possible*	*Good*
Deep Humic Ferralsols	*Rocks in places, sometimes hydromorphic, risk of aluminium toxicity*	—	*Mechanization possible*	*Moderate*
Humic Ferralsols on medium to steep slopes, of variable texture	*Slight potassium deficiency. Risk of alunium toxicity*	*Liable to erosion*	*Manual cultivation*	*Moderate*
Stony Humic Ferralsols, on gentle slopes	*Slight potassium deficiency. Rsik of aluminium toxicity*	—	—	*Rather low*
Humic Ferralsols on medium to steep slopes	*Slight potassium deficiency. Risk of aluminium toxicity*	*Liable to very liable to erosion*	—	*Rather low to very low*
Ferralic Cambisols	*Slight deficiency in potassium and phosphorus*	—	*Mechanization possible*	*Moderate*

e) Valeur agrologique

L'étude de ces deux secteurs de Taveuni confirme la réputation de grande fertilité naturelle attribuée aux sols de cette île. L'évaluation de la nutrition minérale devra cependant être suivie notamment en ce qui concerne les besoins en potasse pour les plantes à tubercules et en ce qui concerne les risques de toxicité aluminique pour les ferralsols acides du Nord. Les risques d'érosion semblent pour l'instant assez réduits. Ils peuvent toutefois devenir préoccupants si la tendance actuelle au défrichement des fortes pentes se confirme et si l'utilisation de moyens de culture mécanisés se fait sans précautions.

4.2 - Suitability for cultivation and forestry

The high fertility of the soils permits a wide range of possible crops. Most crops grown in humid tropical zones could probably be grown successfully on Taveuni. But the geographical and technical isolation of this island and the numerous problems of land tenure described by H. BROOKFIELD (1978) suggest a cautious approach to innovation. The present study, moreover, is not sufficiently detailed to offer more than a qualitative assessment of the possibilities of developing the major types of crop.

L'utilisation de ces moyens risque d'ailleurs dans de nombreux cas d'être entravée par la présence de blocs et de cailloux de basalte à la surface et dans les profils de sol. Ces caractéristiques agrologiques sont résumées dans le Tableau 20.

Tableau 20. — Valeur agrologique des sols de Taveuni

Sols	Contraintes édaphiques	Contraintes morphodynamiques	Travaux à réaliser	Valeur agrologique
Thionic fluvisols	Salure	—	—	Mauvaise
Rendzinas	Texture sableuse	Sensibles aux actions marines	Mécanisation possible	Moyenne
Mollic andosols, pente moyenne	—	—	Mécanisation possible. Assolement indispensable	Bonne
Mollic andosols, forte pente	—	Sensibles à l'érosion	—	Moyenne
Humic andosols, profonds, pente faible	—	—	Mécanisation possible	Exceptionnelle
Humic andosols, caillouteux, pentes fortes	—	Très sensibles à l'érosion	—	Médiocre
Humic andosols, caillouteux, zones planes	—	—	—	Médiocre
Mollic et humic andosols, profonds sur lapilli, zone ondulée	—	—	Mécanisation possible	Bonne
Humic ferralsols, profonds	Présence parfois de cailloux ou d'hydromorphie - Risque de toxicité aluminique	—	Mécanisation possible	Moyenne
Humic ferralsols de pente moyenne à forte et de texture variable	Légère déficience potassique - Risque de toxicité aluminique	Sensibles à l'érosion	Culture manuelle	Moyenne
Humic ferralsols, caillouteux, de pente faible	Légère déficience potassique - Risque de toxicité aluminique	—	—	Médiocre
Humic ferralsols, de pente moyenne à forte	Légère déficience potassique - Risque de toxicité aluminique	Sensibles à très sensibles à l'érosion	—	Médiocre à Mauvaise
Ferralic cambisols	Légère déficience en potasse et phosphore	—	Mécanisation possible	Moyenne

4.2 - Aptitudes culturales et forestières

A cette grande fertilité des sols correspond un large éventail de cultures possibles. La plupart des cultures des zones tropicales humides pourraient probablement être essayées avec succès sur Taveuni. Mais l'isolement géographique et technique de cette île et les multiples problèmes fonciers évoqués par H. BROOKFIELD (1978) inclinent à la prudence en matière d'innovation. Par ailleurs cette étude n'est pas assez détaillée pour pouvoir fournir autre chose qu'une appréciation qualitative sur les possibilités de développement des principaux groupes de culture.

4.2.1 - The major types of possible crops

Five crop groups were selected :

Annual crops suitable for mechanized farming

This crop group, still rare on Taveuni, includes cereals, maize and upland rice, certain oil plants such as ground-nuts, and cassava. It could be cultivated on the deep, gently sloping soils around the volcanic cones in the south, on the deep humic ferralsols and on the ferralic cambisols in the north. These crops, however, would need considerable technical supervision to be grown successfully and avoid the disappointments of the past or indeed of the present (UNESCO/UNFPA 1977).

4.2.1 - Les grands groupes de culture possibles

Cinq groupes de culture ont été retenus :

Les cultures annuelles mécanisables

Ce groupe de culture, encore peu pratiqué sur Taveuni, comprend les céréales, maïs et riz pluvial, certains oléagineux comme l'arachide et le manioc. Il pourrait s'étendre sur les sols profonds et de faible pente situés autour des cônes volcaniques dans le Sud de l'île, sur les humic ferralsols profonds et sur les ferralic cambisols du Nord. Ces cultures nécessiteraient toutefois un suivi technique important pour être menées à bien et éviter les déboires du passé ou même du présent (UNESCO/UNFPA 1977).

Les cultures de subsistance

Parmi celles-ci il faut citer les plantes à tubercule, igname, taro sec, manioc, patate douce, le bananier et le yaqona. Ces cultures se pratiquent après défrichement de la forêt, à la fois dans les zones à relief peu marqué déjà citées et sur les pentes moyennes et fortes. Ce sont soit des cultures pures, soit des associations comme le taro, le yaqona et le bananier. Elles se pratiquent de façon itinérante mais les temps de culture sur un même site sont souvent très longs. La tendance actuelle est d'étendre ces cultures vers les pentes fortes, de plus en plus haut dans la montagne, faute de terrains plats disponibles. Cette tendance est comme cela a déjà été souligné, préoccupante du point de vue de l'érosion. Il est probable qu'une limite à 30 % de pente serait raisonnable pour ces cultures itinérantes.

Les pâturages artificiels

La production de bétail a toujous été une des activités de Taveuni. Jusqu'à 8500 têtes de bovins ont été dénombrées sur l'île (UNESCO/UNFPA 1977). Ce bétail est généralement concentré dans les « estates » et se nourrit sur des pâturages naturels sous cocotiers comme cela est courant aux Nouvelles-Hébrides et aux Salomon. Si le problème de la commercialisation se résoud, il serait intéressant, comme cela a été proposé pour Lakeba, d'envisager la création de pâturages artificiels seuls ou en association avec le cocotier. Ces pâturages ne pourront toutefois être implantés avec succès que dans les terres mécanisables afin qu'une bonne préparation du sol puisse être réalisée. Comme dans le cas des cultures annuelles, ils devront toutefois être suivis par des techniciens avisés.

Les plantations arbustives et arborées

A l'heure actuelle le cocotier apparaît comme la principale culture de ce groupe pratiquée sur Taveuni. Son omniprésence dans toutes les bonnes terres de l'île et l'âge élevé de la plupart des arbres posent le problème de la régénération ou de son remplacement. La question de la rentabilité de la production de coprah est discutée de façon extensive dans le rapport général n° 1 du projet. Une des solutions proposées serait, la régénération d'un certain nombre de plantations pour maintenir la production de coprah grâce à des plants plus jeunes et à des variétés plus productives, et la libération de certaines bonnes terres, actuellement occupées par le cocotier pour d'autres spéculations agricoles.Dans ce groupe de culture, on pourrait probablement envisager sur Taveuni des variétés de caféier Robusta résistant à *Hemeleia vastatrix,* des cacaoyers, des palmiers à huile ou même peut-être de l'hévéa. Ces spéculations demanderaient toutefois à être testées avant d'être introduites sur une grande échelle.

Plantations forestières

Des parcelles de plantations de pins des Caraïbes ont été réalisées dans le Nord Est de l'île. La croissance de ces pins semble très encourageante. Il est probable toutefois que sur

Subsistence crops

Among these, mention should be made of the tubercular plants, yams, dry taro, cassava, sweet potato, the banana tree and yaqona. These crops are grown after forest clearance both in the already-mentioned regions with little slope and on medium and steep slopes. They are cultivated on their own or in association — taro with yaqona and bananas, for example. Shifting cultivation is practised but the same site is often used for a very long time. The present trend is to extend these crops towards the steep slopes higher and higher in the mountains because there is not enough flat land available. As we have already pointed out, this is worrying trend where erosion is concerned. A 30 % slope would probably be a reasonable limit for shifting cultivation of this type.

Improved pasture

Cattle production has always been one of Taveuni's activities. As much as 8500 head of cattle have been counted on the island (UNESCO/UNFPA 1977). The herds are generally concentrated on the « estates » and graze on natural pasture under the coconut palms, as is common practice in the New Hebrides and Solomon Islands. Once the problem of marketing has been settled, it would be interesting — as was proposed for Lakeba — to envisage laying down improved pasture, either alone or in association with coconut palms. Such pasture, however, could only succeed on land suitable for mechanized cultivation since the soil has to be carefully prepared. As with the annual crops, the work should be supervised by experienced technicians.

Plantations of shrubs and trees

At the present time, the coconut palm is the main crop of this group grown on Taveuni. The fact that it monopolizes the good land and that most of the trees are very old raises the problem of replanting or substitution. The question of the profitability of producing copra is discussed at length in the project's General Report No 1. One suggested solution was to renew a number of plantations so as to maintain the production of copra with younger trees and more productive varieties and to free other areas of good land now under coconut palms for alternative crops. Where Taveuni and this crop group are concerned, one could probably consider varieties of the Robusta coffee-shrub that are resistant to Hemeleia vastatrix, *cocoa-trees, oil-palms and even perhaps the hevea, but these possibilities would have to be tested before introduction on a large scale.*

Afforestation

Caribbean pine have been planted on parcels in the north-east of the island, with very encouraging results. However, more noble species than the pine would probably be worth trying on Taveuni's highly fertile soils.

4.2.2 - Map showing suitability for cultivation and afforestation

As in the case of Lakeba, the map showing suitability for cultivation and afforestation was drawn up with due regard to the agrological value of the land and in particular its sensitivity to erosion and chances of successful development in relation to the investments required. Even though the same criteria were used for classification, the legend indicates that Taveuni's soils are more fertile than Lakeba's by including a new category of exceptionally high-quality land. The degree of suitability for each group was estimated in accordance with the FAO proposals (1976). As in the case of Lakeba, the legend covers four levels of suitability — very good, good, poor and unsuitable.

cette île, aux sols très fertiles, il y aurait intérêt à essayer des espèces forestières plus nobles que le pin.

4.2.2 - Carte d'aptitude culturale et forestière

La carte d'aptitude culturale et forestière a été dressée en tenant compte, comme pour Lakéba, des qualités agrologiques des terres et notamment de leur sensibilité à l'érosion et des chances de succès d'un aménagement en fonction des investissements requis. Cette légende fait ressortir par rapport à Lakéba la fertilité des sols de cette île avec la création d'une classe de terre de qualité exceptionnelle, le principe de classement étant par ailleurs le même. Pour chaque groupe de culture est ensuite envisagé, suivant les propositions de la F.A.O. (1976), un niveau d'aptitude du terrain. Comme pour Lakéba quatre niveaux d'aptitudes ont été retenus dans cette légende : très bon, bon, faible et nul.

5 - UTILISATION DES TERRES

La structure des modes d'utilisation des terres à Taveuni ne peut se comprendre qu'en liaison avec le système de propriété foncière de cette grande île, fertile bien que montagneuse. 55 % des terres qualifiées d'« exploitables dans les conditions actuelles d'accès » sont la propriété de sociétés et de particuliers, européens ou partiellement européens, et 28 % seulement continuent à faire partie du système communal fidjien ou sont affermés à de petits exploitants. Le plus grand des domaines privés, au sud de l'île, a une superficie qui est presque exactement celle de l'île de Lakéba. L'établissement de la carte d'utilisation des terres à Taveuni a été précédé par celui d'une carte cadastrale réalisée à partir de données éparses ; cette carte cadastrale, reportée sur une feuille topographique à l'échelle du 1/50.000, a servi de base à la carte d'utilisation des terres. A cette échelle, il n'a été possible d'établir qu'une carte générale, par opposition à la carte très détaillée de Lakéba réalisée à l'échelle de 1/12.500. Une première carte a été établie à partir de photographies aériennes datant de 1967, agrandies à une échelle d'environ 1/12.000 pour les principales zones habitées ; elle a ensuite été améliorée par des travaux sur le terrain, complétés par des photographies prises avec un appareil manipulé à la main, lors de vols de la compagnie Air Pacific traversant Taveuni dans le sens de la longueur entre Suva et l'aéroport de Matei situé à la pointe de l'île. Il a été également tenu compte de certaines données recueillies par le personnel du ministère de l'agriculture. On a constaté que des modifications extrêmement importantes se sont produites depuis 1967, par suite tant de l'accroissement de la superficie cultivée due au plan de développement rural, que du recul des cocoteraies dans les zones périphériques de certains domaines où la forêt gagne peu à peu.

5.1 - Catégories d'utilisation des terres

Etant donné la faible échelle de la carte, on n'a pu reconnaître que six catégories d'utilisation des terres, dont seulement trois sont agricoles. Il y a là une grande part d'arbitraire dans la mesure où des cocotiers ont été plantés sur pratiquement toute la superficie défrichée, à l'exception de quelques rares zones destinées uniquement au pâturage et de certaines des toutes dernières concessions rurales consacrées exclusivement à la combinaison yaqona-taro. Quant aux jardins de cultures sèches, on y trouve presque toujours des cocotiers, mais ceux-ci sont assez clairsemés et ne privent pas trop le sol de

5 - LAND USE IN TAVEUNI

The pattern of land use in Taveuni cannot be understood without reference to the pattern of land tenure on this large, fertile but mountainous island. Or land classed as « usable under present conditions of access », 55 per cent is the freehold land of companies and individual Europeans or part-Europeans and only 28 per cent remains in communal Fijian tenure or is under lease to individual Fijian block-holders. The largest freehold estate, in the south of the island, is almost exactly the same size as the island of Lakeba. Land use mapping on Taveuni was preceded by the construction of a map of land holdings from scattered data, and the land-holding map, plotted on the topographic sheet at a scale of 1:50 000, then formed the base for the land use map. At this scale only generalized mapping was feasible, by contrast with the very detailed mapping undertaken at a scale of 1:12 500 on Lakeba. An initial plot was prepared from 1967 air photographs, enlarged to a scale of approximately 1 : 12 000 in the main occupied areas, and this was then amended by field work, supplemented by photography with a hand-held camera from Air Pacific flights proceeding the length of the island between Suva and Matei airport at the north end of Taveuni. Some data collected by Agriculture Department officers on the land settlement schemes were also incorporated. Very considerable changes were found to have taken place since 1967, both in the extent of the cultivated area due to the land-settlement schemes, and in the loss of coconut areas in the backlands of some estates through the encroachment of forest.

5.1 - Categories of land use

Because of the small scale of mapping only six categories of land use were recognized, of which only three are agricultural. There is a large measure of arbitratiness, in that coconuts have been planted on almost all land ever cleared, with the exception of limited areas cleared only for pasture and some of the most recent settlement-block land which has been put down only to the yaqona-taro combination. Most of the dry-crop garden land has, however, some coconuts, but these are either sparse and take little light from the ground, or else are immature. Gardens under more densely-planted coconuts cannot generally be recognized on air photographs, even colour photographs, and can be mapped only from ground survey. The areas shown on the map are highly generalized, and indicate rather the land

lumière ou bien ne sont pas encore adultes. Les jardins aménagés sous des cocoteraies plus denses ne sont généralement pas décelables sur les photographies aériennes, même en couleur, seuls des relevés au sol permettent de les distinguer. Les zones dessinées sur la carte sont de type assez général : elles indiquent les surfaces qui sont cultivées à un moment ou à un autre plus que la répartition réelle des jardins à un moment donné.

5.2 - Evolution de l'utilisation des terres

Au cours de la période précoloniale, le système d'utilisation des terres de Taveuni était fondé sur la culture de l'igname et du taro et comportait des cultures extensives en terrasses, irriguées par des canaux de dérivation sur des éperons à forte pente entourés de gorges du côté ouest de l'île. Si l'on en trouve encore un grand nombre de traces sur le terrain, ce système semble bien être tombé en désuétude vers 1940. D'importants conflits armés, un fort dépeuplement, de nombreux mouvements de population et déplacements de villages ont eu lieu vers le milieu du XIX° siècle et certains centres fortifiés se sont créés à l'intérieur des terres (FROST, 1970). L'année 1862 marque la fin des conflits armés et le début d'une période d'aliénation très rapide des terres au cours de laquelle environ 65 % des surfaces arables ont été vendues ; une partie fut restituée à la suite des audiences de la « Land Claims Commission » à la fin des années 1870 (BROOKFIELD, 1977). En 1881, les Fidjiens ne représentaient que la moitié de la population de Taveuni, le reste étant composé d'un peu plus de 150 européens et de leur main-d'œuvre, importée principalement des îles Salomon et des Nouvelles Hébrides mais comptant déjà quelques Indiens (BEDFORD, 1977).

La principale culture était au début le coton, cultivé en rotation généralement dans des zones forestières défrichées proches du rivage ; mais il y eut aussi trois plantations de thé à l'intérieur, à environ 300-400 mètres d'altitude, tandis que dans le sud de l'île, dans une zone forestière plus complètement défrichée, on avait planté de la canne à sucre, qui y fut cultivée jusqu'en 1898. Les plantations de thé furent détruites par l'ouragan de 1886 et après l'effondrement des cours du coton, presque toutes les plantations de coton furent remplacées par des cocoteraies (WARD, 1969). A la fin du XIX° siècle, les cocoteraies étaient devenues la base économique de tous les grands domaines ; il y eut une période de défrichage et de plantation intenses jusqu'en 1915, date à laquelle a été plantée la plus grande partie des cocotiers actuels. C'est au cours de cette période que se sont constituées les grandes plantations appartenant à des compagnies ; l'élevage des bovins devenant, dans certaines d'entre elles la seconde source de revenus ; des zones de l'intérieur ont été défrichées pour servir de pâturages. Par la suite, ce secteur a reçu peu d'apports nouveaux en capital, entrant ainsi dans une longue période de déclin progressif interrompu par de brefs moments de relative prospérité, notamment dans les années 50 qui ont connu une vague de nouvelles plantations.

A mesure du vieillissement des arbres, le rendement moyen diminuait. Sur deux plantations témoin, il est tombé de 0,89 tonne à l'hectare en 1955-56 (MASEFIELD, 1958) à 0,59 tonne à l'hectare en 1975-76 (projet UNESCO/FNUAP, 1977). L'utilisation d'engrais a toujours été des plus réduites. L'élevage est redevenu important en tant que deuxième source de revenus, de même, parfois, que le bois de l'intérieur. Il ressort d'une enquête effectuée en 1975-76 qu'avec la culture du coprah uniquement, seules les petites plantations utilisant la main-d'œuvre familiale pouvaient réaliser des bénéfices ; leurs conditions de production étaient comparables à celles des

periodically cropped than the actual distribution of garden land at any one moment in time.

5.2 - Changes in land use through time

The pre-colonial land use system of Taveuni was based on yam and taro cultivation, and included some extensive irrigated terracing, fed by diversionary channels, on steep spurs between small gorges on the western side of the island. While many physical traces of these systems remain, the last seems to have gone out of use about 1940. There was heavy warfare, serious depopulation and much movement of people and villages during the mid-19th century, and some fortified settlements were made deep inland (FROST 1970). After 1862, however, warfare ended and was followed by a period of extremely rapid land alienation in the course of which about 65 per cent of the cultivable land was sold ; a part of this was restored following the hearings of the Land Claims Commission in the late 1870's (BROOKFIELD 1977). In 1881 only about half the population of Taveuni was Fijian, the balance being made up of over 150 Europeans and their imported work force drawn mainly from the Solomons and New Hebrides, but already including a few Indians (BEDFORD 1977).

The main initial plantation crop was cotton, generally sown in forest clearings close to the shore by shifting-cultivation methods, but three tea plantations were established inland at about 300-400 m elevation, and in the south of the island more complete forest clearance was followed by the planting of sugar, which continued as a plantation crop in this area untill 1896. The tea was, however, destroyed by the hurricane of 1886, and most of the cotton was replaced by coconuts after the price of cotton collapsed (WARD 1969). By the end of the 19th century coconut planting had become the economic base of all estates, and clearance and planting were most rapid during the period up to 1915 when a high proportion of the present coconut palms were planted. It was during this period that the large consolidated estates came into being, and on some of these cattle-rearing became a second major enterprise, with inland areas cleared specifically for the creation of pastures. Subsequently, the estate sector received little further infusion of capital, and entered a long period of slow decline interrupted by only limited periods of relative prosperity especially in the 1950s when there was a short burst of new planting.

As trees aged, however, mean yields declined. Two samples of estates recorded mean yields of 0.89 tons/ha in 1955-56 (MASEFIELD 1958) and 0.59 tons/ha in 1975-76 (UNESCO/ UNFPA Project 1977). Very little fertilizer was ever applied. Cattle rearing has again become important as a secondary enterprise, and on some estates the cutting of timber from inland areas is also an important source of income. A project survey in 1975-76 showed that on copra alone only the small estates using family labour were able to show a profit ; their production conditions were comparable with those of the larger Fijian growers. The large estates were barely covering costs on copra production.

Trends in Fijian farming

It is less easy to document the changes in Fijian farming but by the early 20th century coconuts were already firmly established as the only cash crop, and cassava was already an important source of starch in addition to taro. Today, cassava is grown mainly close to the villages, while taro dominates the remoter gardens together with yaqona, production of which has increased enormously since 1970 under the stimulus of a steadily rising price on the national market. Taveuni appears to have a comparative advantage in yaqona pro-

grandes exploitations de Fidji, qui, quant à elles, rentraient à peine dans leurs frais pour la production du coprah.

Tendances de l'agriculture fidjienne

Il est moins facile d'établir les tendances actuelles de l'agriculture fidjienne. Au début du XX° siècle, le cocotier était déjà bien établi en tant que seule culture de rapport, le manioc concurrençant déjà le taro comme source d'amidon. Actuellement, le manioc se cultive surtout près des villages, tandis que le taro prédomine dans les jardins plus éloignés ainsi que le yaqona, dont la production s'est énormément accrue depuis 1970 à la suite de la hausse continuelle de ses cours sur le marché national. Taveuni semble avoir à cet égard un avantage comparatif, la maturation de la plante y étant plus rapide que sur les autres îles.

Au cours des années 60, d'immenses superficies mataqali* ont été divisées en concessions individuelles. Certaines de ces concessions ont été dûment contrôlées et enregistrées, mais le mouvement s'est poursuivi après l'abandon de la politique nationale de démembrement à la fin des années 60 et continue de nos jours. En 1976, 49 % des mataqali « exploitables » avaient été répartis en 315 concessions ; en outre, 89 lots avaient été créés par suite de la vente et du démembrement de grands domaines et environ 25 d'entre eux appartenaient à des Indo-Fidjiens. Les autres terres démembrées avaient été attribuées à des Fidjiens pour une durée de 30 ans soit par bail légal, soit de facto ; il y avait en outre une centaine de lots fidjiens dans la propriété libre de facto « kovukovu », qui ne fait pas partie des mataqali. Dans ces concessions, la zone mise en valeur allait de zéro à plus de 300 hectares, constituant au total plus de 17 km2 ; si une partie de ces terres n'était consacrée qu'à la culture des cocotiers, la plupart étaient plantées de taro et de yaqona, dont elles étaient les principaux fournisseurs sur le marché national. Un système complexe, sans doute ancien, de cultures intercalaires était pratiqué localement, les plantes plus vivaces remplaçant progressivement les plantes à cycle végétatif rapide en tant que culture de couverture, mais il y avait également de grandes zones consaccrées à la monoculture du taro, ou simplement à la culture du taro associé au yaqona, plus vivace. C'étaient, pour la plupart, des terres récemment gagnées sur la forêt et le défrichement se poursuivait activement, souvent sur des pentes très fortes, ayant sur les sols une incidence dont témoignait assez la turbidité des cours d'eau et de la mer autour des divers exutoires après de fortes pluies. Il n'en reste pas moins qu'on y obtenait de très hauts rendements (voir p.). Il y avait bien moins de cultures de rapport sur les mataqali indivis, à l'exception des cocotiers ; de là provenait la majeure partie des 21 % de la production de coprah fournie par les petits cultivateurs fidjiens de Taveuni. Mais globalement la principale culture de rapport des îles Fidji était sans doute devenue, sur le plan financier, le yaqona, produit essentiellement sur les concessions par une minorité de cultivateurs.

5.3 - Etat de l'utilisation des terres à Taveuni

Les deux tiers de l'île de Taveuni restent couverts par la forêt, parfois secondaire, mais qui n'a, le plus souvent, été défrichée depuis au moins plusieurs siècles. Un tiers de cette forêt se trouve dans la partie accidentée du centre et de l'est de l'île, le reste entourant les zones de culture qui pénètrent vers l'intérieur et atteignant la côte en certains points du sud-ouest. Dans cette île, la vitesse de croissance est élevée et certaines zones défrichées et cultivées il y a 70 ou 80 ans sont déjà revêtues d'un couvert végétal à trois strates. Etant donné que la plupart des

* Mataqali : forme traditionnelle de propriété communale aux îles Fidji.

duction, with more rapid maturation of the crop than in other islands.

During the 1960s considerable areas of mataqali land in Taveuni were subdivided into individual blocks. Some of these subdivisions were supervised and registered, but the movement continued after the collapse of subdivision as a national policy in the late 1960s, and still continues today. In 1976 it was found that 49 per cent of the « usable » mataqali land had been subdivided in a total of 315 blocks ; a further 89 freehold blocks had been created from the sale and subdivision of estate land, and about 25 of these latter blocks were held by Indo-Fijians. All the rest of the subdivision land was held by Fijians on either legal or* de facto *30-year lease, and there were in addition about 100 blocks of Fijian land held in the* de facto *freehold of « 'ovukovu », separated from the mataqali domain. The developed area on subdivisions ranged from zero to over 300 ha, a total of over 17 km2, and while a part of this land was only under coconuts, most of the active subdivision blocks were under taro and yaqona, and were the main producers of these crops for sale on the national market. A complex, and probably ancient system of inter-culture of plants was locally practised, under which longer-term crops progressively took over the ground-cover role from a range of short term crops, but there were also large areas under monoculture of taro, or simply taro with longer-term yaqona. Most of these areas were newly cleared from the forest, and active clearance — often on very steep slopes — was continuing, with effects on the soil clearly visible in the turbid condition of streams and of the sea around each outfall after heavy rain. Nonetheless, very high yields were being obtained (see p.). There was far less cash cropping on undivided mataqali land, except for coconuts ; these lands remained the main producer of the 21 per cent of Taveuni copra production derived from Fijian small-farmer sources. Taken as a whole, however, the main cash crop of Fijian agriculture had, in value terms, probably become yaqona, produced mainly on the subdivisions by a minority of cultivators.*

5.3 - The state of Taveuni land use

Two-thirds of all Taveuni remains under forest, some of it secondary but a high proportion never cleared for cultivation in at least several centuries. A third of this forest is in the rugged centre and east of the island but the balance lies around the inland fringes of cultivation, and reaches the coast at a few points in the southwest. The rate of regrowth is rapid in this island, and some land cleared and cultivated seventy or eighty years ago is already under a three-storey cover or regrowth. Because alienation picked out much of the best land, 41 per cent of all non-Fijian land is under coconuts, and 54 per cent is cleared. Only 16 per cent of Fijian land is under coconuts, and only 27 per cent is cleared, but 7 per cent of Fijian land is under food crops or yaqona, compared with less than two per cent of non-Fijian land.

Because coconuts, whether estate or Fijian, occupy most of the coastal zone, a high proportion of food crop and yaqona land is inland. The mean distance from the coast of 257 plots is 1.4 km, and the mean altitude 139 m. On the basis of median measures, more than one half of these field-crop plots are more than 995 m from the coast, and above 91 m ; the highest are at an altitude of almost 750 m. Very large usable areas remain unused, but there is at present strong pressure to develop the higher-altitude areas where, given access, the topography is

** mataqali : land in traditional Fijian tenure.*

meilleures terres ont été aliénées, 41 % des terres non-fidjiennes sont plantées de cocotiers et 54 % sont défrichées. Quant aux terres fidjiennes, seulement 16 % sont plantées de cocotiers et 27 % défrichées ; mais 7 % sont plantées de cultures vivrières ou de yaqona (contre moins de 2 % sur les terres non-fidjiennes).

Etant donné que les cocoteraies, celles des sociétés comme celles des Fidjiens, occupent presque toute la zone côtière, la majeure partie des sols consacrés aux cultures vivrières et au yaqona se trouvent à l'intérieur. La distance moyenne par rapport à la côte est, pour 257 parcelles, de 1,4 km, l'altitude moyenne étant de 139 m. Statistiquement, plus de la moitié de ces parcelles de cultures de plein champ se trouve à plus de 995 m de la côte et à une altitude supérieure à 91 m ; les plus hautes sont à une altitude de près de 750 m. De très grandes superficies utilisables restent inexploitées, mais une forte pression s'exerce actuellement en vue de mettre en valeur les zones situées en altitude qui sont, dans la mesure où on peut y accéder, souvent plus accueillantes que les zones proches de la côte. L'île de Taveuni est sous-peuplée, sous-cultivée et dominée par des cocoteraies à faible rendement qui accaparent la plus grande partie des meilleures terres. Si on ne prend pas des mesures draconiennes pour modifier l'affectation des terres côtières, les zones de l'intérieur seront très vraisemblablement exploitées beaucoup plus intensivement dans l'avenir et cette invasion des zones montagneuses de l'intérieur aura des conséquences écologiques importantes, peut-être même graves.

CONCLUSION

Ainsi les caractéristiques des sols de Taveuni justifient pleinement leur réputation de grande fertilité. Cette fertilité apparaît plus spécialement dans les terres du Sud de l'île que dans celle du Nord. Mais elle reste de toute façon partout à un haut niveau. Ce jugement doit toutefois être tempéré en ce qui concerne les possibilités d'utilisation agricole par deux handicaps très importants : le relief très montagneux de cette île qui entraîne des risques d'érosion non négligeables et la présence de blocs de basalte à la surface et dans le profil de nombreux sols qui limite leurs possibilités d'utilisation.

often gentler than closer to the coast. Taveuni is an underpopulated island, under-cultivated, and dominated by low-yielding coconuts which pre-empt most of the best land. Without some radical measures to modify the allocation of coastal land, it seems very likely that inland areas will be attacked much more intensively in the future, and that this invasion of the inland and upland regions of the island will have important — and perhaps serious — ecological consequences.

CONCLUSION

Clearly, the characteristics of Taveuni's soils bear out their reputation for great fertility, though more so in the south than in the north. In any case, the level is high everywhere. In considering their agricultural potential, however, this judgment should be qualified by taking two important handicaps into account : the island's very hilly terrain creates a significant risk of erosion, and the presence of basalt blocks on the surface and in the profiles of many soils limits their practical potential.

C - KABARA :
un atoll surélevé

Kabara est un atoll surélevé comme on en observe de nombreux dans le Pacifique Sud-Ouest. (DAVIS 1928, DE WEISSE 1970, TERCINIER 1971). Il appartient à un ensemble d'atolls surélevés observés dans le sud des îles Lau (Namuka, Ongea, Fulanga et Vanua Vatu...). Il est situé dans le sud du groupe des Lau par 19° de latitude sud et 179° de longitude ouest. C'est une île de forme massive et ovale dont la plus grande longueur atteint près de 9 km. Elle est pratiquement entièrement forestée à l'exception d'une petite colline de basalte située sur sa bordure nord-ouest.

1 - PHYSIOGRAPHIE

LADD et HOFFMEISTER (1945) décrivent cette île comme composée d'un bassin calcaire aux formes presque parfaites. Les pentes très faibles de cette cuvette lui donnent toutefois plutôt un aspect de plateau. Les bords de ce plateau culmineraient entre 60 et 80 m quand la partie centrale serait proche du niveau de la mer. Le raccordement avec la mer ou la plaine côtière se fait par une falaise montrant parfois des gradins ou terrasses indicateurs de phases de stabilité au cours de la surrection.

Dans la partie nord-ouest de l'île s'élève une colline volcanique qui domine le relief calcaire. Cette colline, connue sous le nom de DELAIOLOI culmine à environ 132 m et présente des pentes fortes voisines de 50 %. A la base de cette colline, côté Est, se développe un glacis de faible pente, en position de dépression par rapport au relief calcaire. Sur ce glacis on peut observer de nombreux témoins d'érosion et de colluvionnement. Côté ouest la colline s'élève presque directement de la mer au sommet par l'intermédiaire d'une forte pente. A la périphérie de l'île s'étend un cordon de plage discontinu dont la largeur excède rarement 100 m.

2 - GEOLOGIE

Selon LADD et HOFFMEISTER 41945), les roches volcaniques de la colline de DELAIOLOI seraient de l'odinite une variété de basalte ; les calcaires étant des calcaires coralliens très calcitisés dont il reste peu de formes originelles.

L'histoire de la mise en place de ces deux formations, l'une par rapport à l'autre, a été longuement discutée par FOYE (1917) et LADD et HOFFMEISTER (1945): Il ressort que sur un substrat volcanique, le plateau corallien s'est développé fin Tertiaire sur une grande épaisseur. A la suite de son édification, cette masse calcaire s'est surélevée progressivement jusqu'au niveau actuel. Par la suite, probablement au Pleistocène, un épanchement volcanique a permis la mise en place de la colline de DELAIOLOI. Enfin au cours de l'Holocène se serait édifiée la plaine littorale. Le problème de la postériorité des roches volcaniques de la colline de DELAIOLOI aurait été remis en cause

C - KABARA :
an uplifted atoll

Kabara is an uplifted atoll like many others to be found in the south-west Pacific (DAVIS 1928, DE WEISSE 1970, TERCINIER 1971). Situated at 19° South by 179° West, it is one of a group of these atolls in south Lau (Namuka, Ongea, Fulaga, Vanua Vatu, etc.). It is massive and oval in shape, with a maximum length of nearly 9 km and, apart from a small basalt hill on its north-west coast, is almost entirely covered in forest.

1 - PHYSIOGRAPHY

LADD and HOFFMEISTER (1945) describe Kabara as an almost perfectly-shaped limestone basin, though the very gentle inward slopes make it look more like a plateau whose outer edges rise up to between 60 and 80 metres while the centre is almost at sea level. A cliff, with terraces here and there indicating periods of stability during the uplifting process, joins this bowl to the sea or coastal plain.

In the north-west a volcanic hill called Delaioloi, about 132 m high and with steep slopes around 50 %, stands out over the limestone terrain. At its foot, to the east, a gently sloping talus has formed which dips below the limestone landscape. Here there is much evidence of erosion and colluvial deposits. Its western flank rises steeply almost straight from the sea to the summit. The island is surrounded by an unbroken belt of beach seldom exceeding 100 m width.

2 - GEOLOGY

According to LADD and HOFFMEISTER (1945), the volcanic rocks of Delaioloi are of odonite, a form of basalt, whereas the limestones are of coral origin but highly calcitized and showing little trace of their original form.

The history of these two formations, in relation to each other, has been discussed at length by FOYE (1917) and LADD and HOFFMEISTER (1945). It appears that the coral plateau developed, to a great depth, on a volcanic substratum towards the end of the Tertiary era. Once formed, the limestone mass was gradually uplifted until it reached its present level. Then probably during the Pleistocene, a volcanic effusion created the hill Delaioloi. The coastal plain would have developed during the Holocene. I.B. BOTSON and TWYFORD and WRIGHT (1965) disagreed that the volcanic rocks of Delaioloi were formed at a later stage, but the presence on the plateau of bauxitic soils and

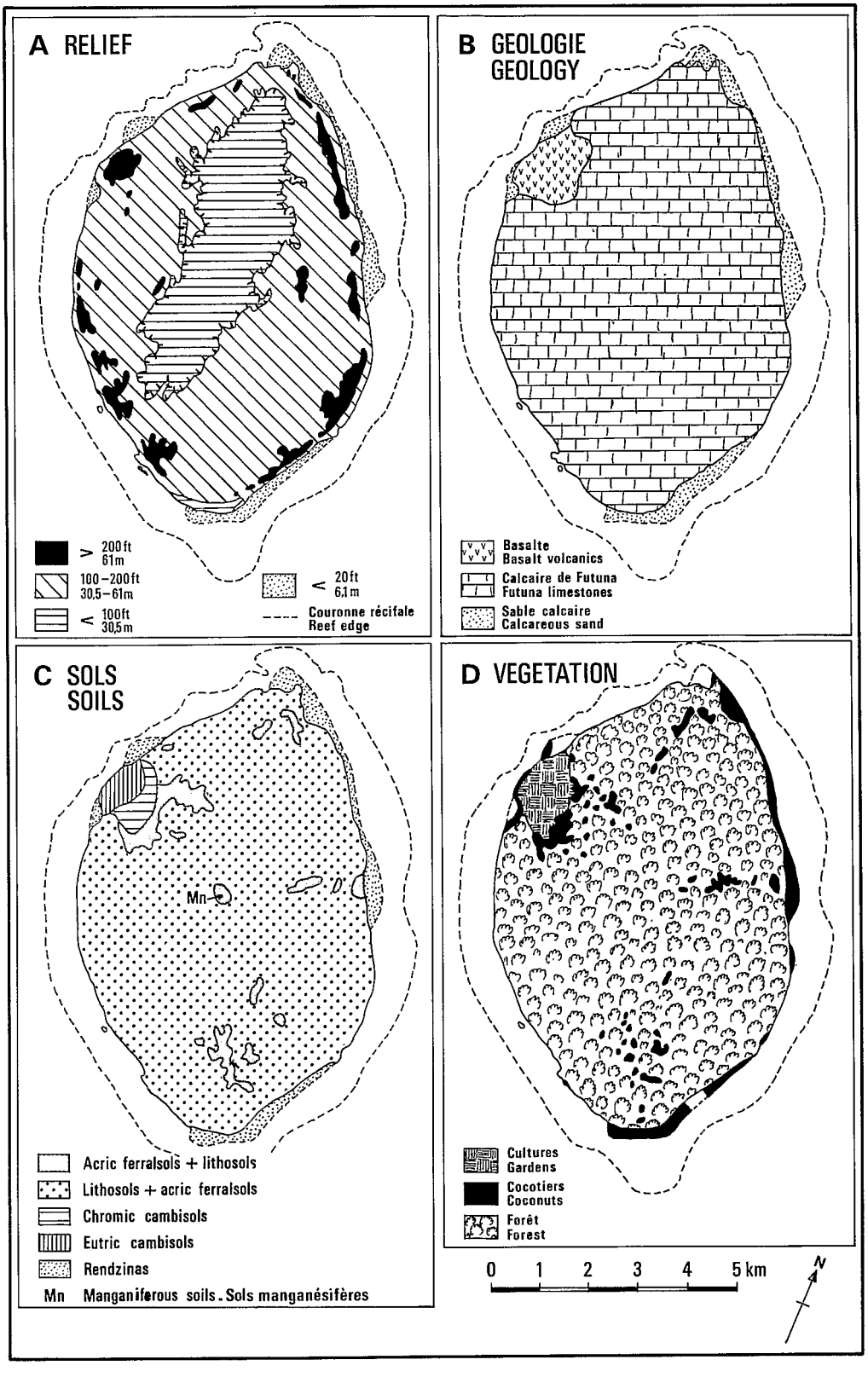


Figure 15 : Kabara, le milieu
Kabara, the environment

par I.B. BOTSON et TWYFORD et WRIGHT (1965). La présence de sols bauxitiques sur le plateau et d'accumulation de manganèse sont des indices très nets d'un recouvrement même limité de ce plateau par des éléments volcaniques (TERCINIER 1971) et ces indices sont parfaitement cohérents avec une éruption postérieure à la mise en place du plateau. Il y a donc tout lieu d'accepter pour l'instant le schéma présenté par LADD et HOFFMEISTER.

3 - CLIMAT ET HYDROLOGIE

Comme celui de Lakéba, le climat de Kabara est très variable d'une année à l'autre. Les pluviométries sont voisines sur ces deux îles avec un total annuel moyen pour Kabara de 2100 mm. Ce climat apparaît relativement humide, on peut noter toutefois de mai à octobre de longues périodes de sécheresse. Ces sécheresses ont alors un effet négatif sur les cultures de la colline de DELAIOLOI mais aussi et surtout sur les possibilités d'alimentation en eau de la population, UNESCO/UNFPA (1976). Comme pour Lakéba, des cyclones ont atteint l'île à plusieurs reprises (MAC LEAN, 1977). Enfin, on ne note pas d'influence notable des alizés au niveau de la végétation. Ceci tient probablement à une topographie peu accentuée. Le climat de Kabara apparaît donc comparable à celui de Lakéba. Ce serait un climat tropical océanique.

Aucun cours d'eau n'est signalé sur cette île, ce qui est normal dans ce milieu karstique. Seule au centre de l'île, à proximité des accumulations de manganèse, une mare d'eau douce de faible dimension a pu être observée. Cette mare serait permanente selon nos informateurs. S'agit-il d'une mare sur un niveau argileux imperméable ou du toit d'une lentille d'eau douce ? La question présente un intérêt évident dans cette île pour laquelle l'alimentation en eau douce se fait en recueillant la pluie dans des citernes. Elle demanderait à être précisée par une prospection hydrogéologique. Une mare sur couche argileuse imperméable n'aurait en effet que peu d'intérêt vu sa faible dimension. Par contre le toit d'une lentille d'eau douce pourrait constituer à la suite de sondage une réserve en eau précieuse. Une telle lentille est probable dans ce milieu karstique. On en a observé de très importantes sur les îles de Lifou et Maré en Nouvelle-Calédonie. Le jaillissement de sources au niveau de battement des marées signalé par LADD et HOFFMEISTER semble la confirmer.

4 - SOLS ET APTITUDES CULTURALES

Les sols de Kabara sont différenciés et génétiquement liés au substrat géologique et à l'histoire de sa mise en place. Quatre grands groupes de la légende FAO (1974) sont représentés : les lithosols, les rendzinas, les cambisols et les ferrasols. Ces sols ont aussi été classés dans la classification française (C.P.C.S. 1967) avec référence à la légende de TWYFORD et WRIGHT (1965) (T.W.).

La répartition de ces sols correspond assez précisément à la morphologie de l'île (Fig. n° 16).

— Sur le plateau, des sols ferrallitiques bauxitiques ou humic ferrasols (Latosolic soils T.W.) se développent par poches entre des affleurements de calcaire (lithosols). Ces sols bauxitiques ont une composition essentiellement alumineuse et ferrifère et parfois manganésifère (tableau 21). Ils sont analogues à ceux observés sur d'autres atolls surélevés du Sud-Ouest Pacifique à

an accumulation of manganese show clearly that the plateau was covered, even though to a very limited extent, by volcanic material (TERCINIER 1971) ; these clues are perfectly consistent with an eruption after the plateau had been formed and justify our provisional acceptance of the views of LADD and HOFFMEISTER.

3 - CLIMATE AND HYDROLOGY

Like Lakeba, the climate of Kabara varies greatly from one year to the next. Both islands have similar rainfall, the annual mean on Kabara being 2 100 mm. Even though this suggests a rather wet climate, there can be long droughts between May and October which are bad for the crops grown on Delaioloi but also, more serious, cause water shortages for the local population (UNESCO/UNFPA 1976). Like Lakeba, the island has been struck by hurricanes on several occasions (MC LEAN, 1977). Lastly, the south-easterlies do not appear to have a significant impact on the vegetation, probably because of the flattish topography. In short, Kabara has a tropical oceanic climate similar to that of Lakeba.

As is normal with karstic landscapes, the island has no known streams though, in the centre of the island near the accumulation of manganese, there exists a small fresh-water pond which we were told was never dry. Is it an ordinary pond on a layer of impermeable clay or is it the top of a lens of fresh water ? The question is clearly important for an island whose supplies of fresh water depend on collecting rainwater in tanks, and should be settled by means of a hydro-geological investigation : an ordinary pond formed on a layer of impermeable clay would be too small to be of much interest but if it turned out to be the top of a lens of fresh water, boring might discover precious reserves. A lens of this kind is quite probable in this karstic environment : some very large ones have been found on the islands of Lifou and Maré in New Caledonia. This possibility would seem to be supported by the gushing of springs, noted by LADD and HOFFMEISTER, between high and low tide.

4 - SOILS AND SUITABILITY FOR CULTIVATION

The soils of Kabara are differentiated and genetically related to the geological substratum and its history. Four of the Great Soil Groups of the FAO legend (1974) are represented : lithosols, rendzinas, cambisols and ferralsols. These soils have also been classified according to the French classification (C.P.C.S. 1967) with cross-references to the TWYFORD and WRIGHT (1965) legend (T.W.).

The distribution of these soils reflects the morphology of Kabara quite closely (Fig. 16).

— On the plateau, bauxitic ferrallitic soils or humic ferralsols (Latosolic soils in T.W.) are to be found in pockets between outcrops of limestone (Lithosols). These bauxitic soils have a mainly aluminous and ferriferous and occasionally

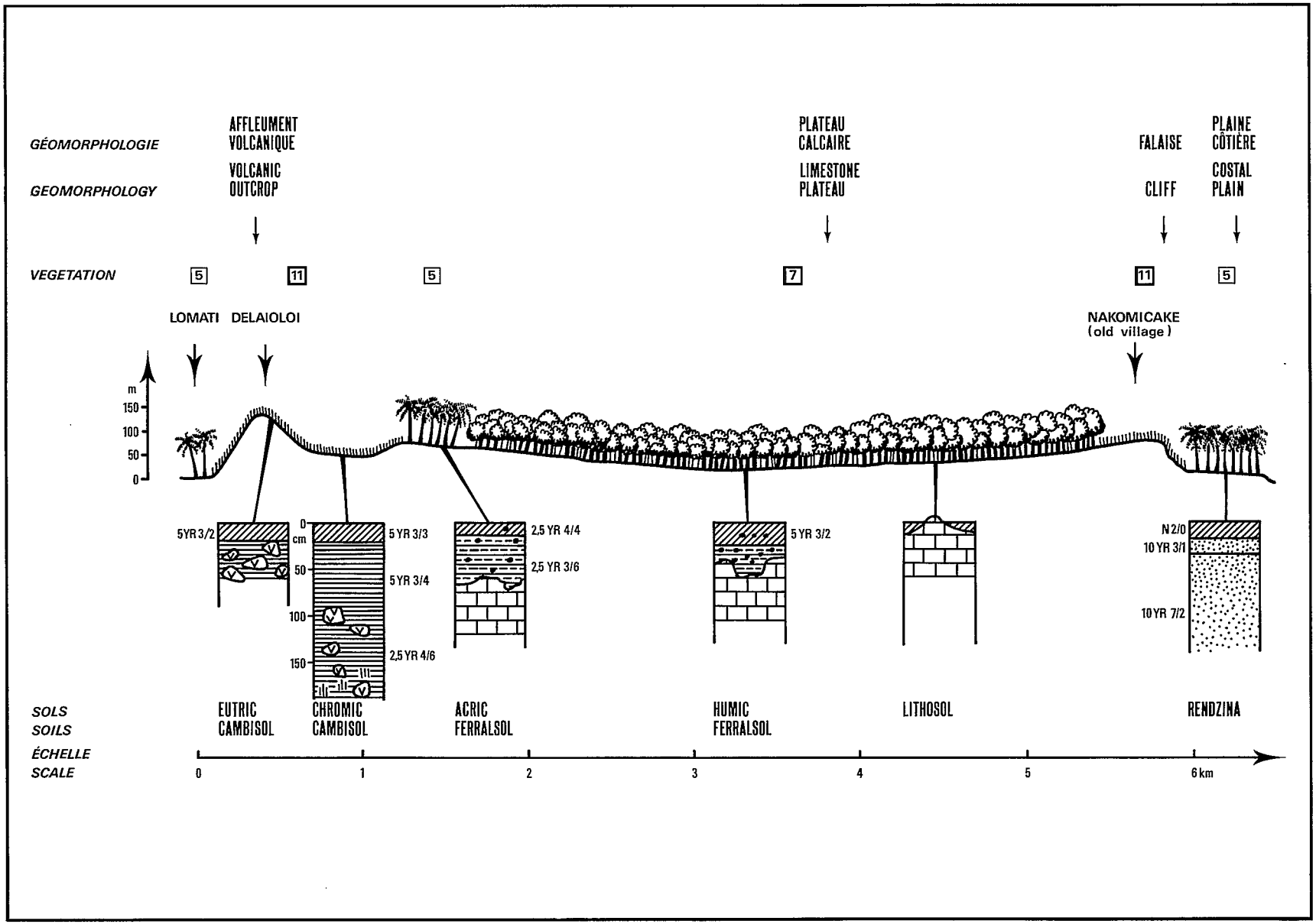


Figure 16 : Kabara coupe
Kabara section

(5) cocoteraies - *coconut groves* (7) Forêt dense - *evergreen forest* (11) cultures

proximité de zones volcaniques comme Rennell aux Salomon (De Weisse, 1970) et les îles Loyauté en Nouvelle Calédonie (Tercinier, 1971). Ce sont des sols de réaction neutre à basique dans lesquels on peut généralement observer des éléments calcaires jusque dans les horizons de surface. Dépourvus de phyllite, leur capacité d'échange se limite à celle de la matière organique ; celle-ci est toujours assez élevée dans ces sols sous forêt. La richesse en éléments fertilisants se trouve ainsi concentrée dans l'horizon humifère. Les analyses effectuées sur les profils prélevés (tableau 21) indiquent de fortes teneurs en matière organique, en azote et en phosphore. Une déficience en potasse apparaît assez nettement.

Les possibilités d'utilisation de ces sols, en dehors de plantations de cocotiers, ce qui est actuellement réalisé, restent limitées vu la dissémination des poches de terre et leur fort enrochement. Certains secteurs seraient plus favorables à des cultures vivrières, comme c'est le cas à proximité de l'ancien village de NAKOMICAKE, sur le pourtour de la colline de DELAIOLOI ou sur une poche de sol mangasénifère (échantillon K 61) dans le centre de l'île. D'autres secteurs de tels sols non reconnus peuvent exister, en particulier dans le sud de l'île. La fertilité de ces sols reste malgré tout très fragile du fait de sa liaison exclusive à la matière organique.

manganiferous composition (Table 21). They resemble the soils found near volcanic areas on other uplifted atolls in the south-west Pacific, such as Rennell in the Solomon Islands (De Weisse, 1970) and the Loyalty Islands in New Caledonia (Tercinier, 1971). These are soils with a neutral to basic reaction in which calcareous elements may usually be found even in the surface horizons. As they lack phyllite, their exchange capacity is confined to organic matter but this is always fairly high when these soils are under forest. The supplies of fertilizing matter are thus concentrated in the humiferous horizon. Analyses of samples from the profiles (Table 21) show large amounts of organic matter, nitrogen and phosphorus but a clear deficiency in potassium.

Apart from coconut plantations, which have already been established, these soils have only limited potential because they exist in scattered pockets and are full of rocks. Some areas, for example near the old village of Nakomicake, around the hill Delaioloi or a pocket of manganiferous soil (sample K 61) in the centre of the island, seem more suitable for food crops. There may be other non-discovered spots with such soils, especially in the south of the island. Nevertheless, the fertility of these soils is fragile because it depends exclusively on organic matter.

Tableau 21. — Caractéristiques physico-chimiques des sols de Kabara

Table 21. — Physico-chemical characteristics of the soils of Kabara

Type de profil/*Type of profile*	Humic ferralsols			Eutric cambisols		Chromic cambisols			Rendzina		
Echantillon/*Sample N°*	K 11	K 12	K 61	KC 41	KC 42	K 21	K 22	K 23	KC 11	KC 12	KC 13
Profondeur en cm/*Depth in cm*	0-10	50-60	0-10	0-10	20-30	0-10	70-80	140-150	0-9	10-20	56-60
Horizon	A_1	B	A_1	A_1	(B) C	A_1	B_2	B_3	A_1	A A_3	C
Argile %/*Clay %*	6,5	6,0	—	—	—	47,0	71,5	85,0	—	—	—
Carbone organique %/*Organic carbon %*	6,8	1,31	5,2	3,9	1,02	4,3	1,7	—	4,9	2,7	—
Azote %/*Nitrogen %*	0,61	0,1	0,49	0,3	0,06	0,4	0,21	—	0,40	0,28	—
C/N	11,1	10,1	10,6	13	17	10,8	8,3	—	12	10	—
pH	6,8	7,5	7,0	6,2	5,9	6,9	7,0	7,1	7,1	7,1	7,5
Complexe échangeable/*Exchangeable complex*											
Ca + + — mé/100 g	23,9	16,2	33,1	13,2	13,8	42,3	23,9	10,0	—	—	—
Mg + + - mé/100 g	6,9	3,8	6,2	9,0	11,2	13,6	7,5	3,1	22,8	22,3	33,9
K + - mé/100 g	0,4	0,04	1,2	0,17	0,12	0,3	0,1	0,02	0,16	0,11	0,07
Na + - mé/100 g	0,3	0,1	0,5	0,77	1,51	2,0	0,3	0,3	5,6	5,7	5,7
C.E.C. - mé/100 g	44,6	23,1	56,1	27,5	19,9	63,1	45,7	23,6	—	—	—
Taux de saturation %/*Base saturation %*	71	87	73	84	92	92	70	57	—	—	—
Analyse totale/*Total analysis*											
Perte au feu %/*Loss of ignition %*	30,9	24,0	29,7	—	—	19,1	15,3	14,9	—	—	—
Insoluble %	0,20	0,10	0,30	—	—	1,1	0,8	0,10	—	—	—
SiO_2 %	1,0	0,90	0,80	—	—	34,6	34,0	33,1	—	—	—
Al_2O_3 %	39,0	44,5	24,5	—	—	22,5	25,5	30,5	—	—	—
Fe_2O_3 %	21,0	24,3	16,3	—	—	16,3	18,3	17,3	—	—	—
TiO_2 %	2,05	2,30	1,36	—	—	3,0	3,27	2,85	—	—	—
MnO_2 %	2,16	2,24	21,4	—	—	0,27	0,24	0,04	—	—	—
CaO %	1,41	1,19	5,36	—	—	1,67	1,08	0,51	—	—	—
MgO %	0,41	0,47	0,74	—	—	1,45	1,19	0,33	—	—	—
K_2O %	0,06	0,05	0,20	—	—	0,08	0,09	0,09	—	—	—
Na_2 %	0,21	0,26	0,27	—	—	0,31	0,27	0,32	—	—	—
P_2O_5 %	1,65	0,99	3,6	0,72	0,65	0,35	0,27	0,28	1,53	0,89	0,31

— La colline de DELAIOLOI est couverte de sols peu développés, sols bruns eutrophes ou eutric cambisols (steepland nigrescent soils T.W.) soumis à une érosion intense du fait de leur dénudation par les cultures. On observe en surface et dans le profil pédologique de très nombreux cailloux et graviers de basalte peu altérés. Les analyses chimiques révèlent un épuisement du sol tant en potasse comme c'est le cas pour les sols bauxitiques, qu'en phosphore. L'utilisation agronomique de ces terres pour les cultures vivrières a été de tous temps très intense, ce qui explique cet épuisement des sols en éléments fertilisants. Actuellement ces terrains ne supportent plus que quelques maigres cultures de patates douces *(Ipomoea batatas)*, entrecoupées de longues périodes de jachère. L'établissement de haies de Cypéracées en courbes de niveau a été tenté pour ralentir l'érosion. Peu de choses peuvent cependant être proposées pour augmenter le potentiel agronomique de ces terres si ce n'est l'utilisation rationnelle de jachères en y incluant des légumineuses et des apports d'engrais phospho-potassiques.

Sur la zone de glacis qui s'étend au pied de la colline, on observe des sols fersiallitiques ou chromic cambisols (Latosolic soils T.W.). Ces sols, de couleur brun rouge, argileux, profonds sont assez fertiles. Comme pour les sols précédents, un déficit en potasse se fait sentir mais ils sont bien pourvus en matière organique, en azote et en phosphore. Leurs utilisations actuelles sont les cultures vivrières et principalement le manioc *(Manihot esculenta)*. Ces sols sont hélas très utilisés et d'extension très réduite (environ 150 ha).

— Enfin sur la plaine côtière, se développe des rendzines sur sables coralliens. Ces rendzines ou rendzinas (recent soils from coastal sand T.W.) ont une fertilité médiocre (faible taux de potasse). Leur profil est relativement sec car très filtrant. Cette plaine côtière est le domaine d'élection du cocotier, mais on observe aussi à proximité des villages des cultures vivrières et en particulier du manioc.

Ainsi Kabara a des ressources en sols de cultures réduites. Elles sont limitées principalement à la colline de DELAIOLOI, à son pourtour et à la plaine côtière, ce qui représenterait moins de 10 % de la surface de l'île. Une prospection systématique du plateau permettrait peut-être de trouver d'autres poches de sols bauxitiques d'extension suffisante. Mais cela reste aléatoire. Les moyens d'accroissement de la production agricole de Kabara reposent donc sur son intensification. Cette intensification doit se faire en particulier par des apports d'engrais potassiques vu la pauvreté des sols en cet élément. Une diversification de la production avec introduction de rotations dans lesquelles on pourrait faire entrer le maïs, l'igname, le manioc et une légumineuse, peut-être l'arachide, permettrait d'accroître la productivité des sols de piedmont de la colline. Par ailleurs une régénération de la cocoteraie et sa fertilisation par des engrais potassiques associés à des oligoéléments (IRHO 1971) devrait amener un accroissement notable des rendements en coprah. Enfin l'installation de pâturages sous cette cocoteraie permettrait l'introduction d'un troupeau de bovins.

— The hill of Dalaioloi is covered with rather immature, brown eutrophic soils or eutric cambisols (steepland nigrescent in T.W.) which are being heavily eroded as a result of denudation for cultivation. There are many little weathered basalt stones and gravels on the surface and in the pedological profiles. Chemical analysis reveals deficiencies in potassium, as in the bauxitic soils, but also in phosphorus. This land has always been intensely cultivated for food crops, which accounts for the exhaustion of the fertilizing elements in its soils, but it now supports only the cultivation of a few sweet potatoes (Ipomoea batatas) *with long fallow. An attempt has been made to slow down erosion by planting hedges of* Cyperaceae *along the contours. There is, however, little to be done to improve the agricultural potential of this land except to propose a more rational use of fallow periods by sowing leguminous species and enriching with phosphorus and potassium fertilizers.*

The talus at the foot of the hill contains Fersiallitic or Chromic Cambisols (Latosolic soils in T.W.) which, brownish-red in colour, clayey in texture and deep, are fairly fertile. As in the previous group of soils, there is a significant potassium deficiency but organic matter, nitrogen and phosphorus levels are high. At present they are used for food crops, chiefly cassava (Manihot esculenta), *but are unfortunately intensely cultivated and cover a very small area (about 150 ha).*

— Lastly, on the coastal plain, rendzinas have developed on the coral sands. These soils (recent soils from coastal sand in T.W.) are of below average fertility (low levels of potassium) and their profile, being highly porous, is relatively dry. The coastal plain is the preferred area for the coconut palm but food crops, especially cassava, may be seen near the villages.

In short, Kabara has scant resources in cultivable soils. They are mainly confined to the hill Delaioloi, its lower slopes and the coastal plain, that is, less than 10 % of the island's land areas. A systematic reconnaissance of the plateaux might reveal other pockets of bauxitic soils large enough to cultivate, but that remains to be seen. On Kabara, the only way of increasing agricultural production is more intense cultivation and for this, since the soils are so poor in potassium, inputs of potassium fertilizer in particular would be needed. A greater range of products cultivated in rotation and including, for example, maize, yams, cassava and a legume such as ground-nuts, would improve the yield of soils on the lower slopes of the hill. The coconut groves could also be rejuvenated and supplied with potassium-based fertilizers associated with micro-nutrients (IRHO 1971), measures which should raise the copra yield considerably. Lastly, the laying of improved pastures under the coconuts palms would make it possible to introduce a herd of cattle.

5 - VEGETATION NATURELLE

Le couvert végétal de Kabara est essentiellement une forêt dense humide, à l'exception des zones cultivées de la colline de DELAIOLOI et de la plaine côtière couverte de cocotiers.

Cette forêt occupe la majeure partie du plateau calcaire à l'exception des quelques défrichements qui y ont été réalisés. Elle semble assez riche en espèces végétales et on y observe en particulier de beaux arbres utilisés localement comme le vesi

5 - NATURAL VEGETATION

Except for the cultivated areas of the hill Delaioloi and the coconut groves of the coastal plain, the plant cover of Kabara is chiefly composed of a wet evergreen forest.

*Apart from a few places which have been cleared, this forest occupies the greater part of the limestone plateau. It appears to be fairly rich in plant species and one finds splendid trees such as the vesi (*Intsia bijuga *Caesalpiniaceae), the vesivesi*

(Intsia bijuga Caesalpiniaceae), le vesivesi *(Pongamia pinnata* Papilionaceae), le manawi *(Koelreuteria elegans* Sapindaceae), le bau *(Pittosporum brackenridgei* Pittosporaceae) ou encore le nunu ou banian *(Ficus sp.* Moraceae). Les réserves en bois de cette forêt ne sont probablement pas énormes d'autant que l'utilisation traditionnelle qui en a été faite jusqu'à maintenant a amené la perte de nombreux fûts, faute de moyens de transport. Elles devraient toutefois être suffisantes pour installer une petite exploitation forestière villageoise. L'exploitation plus intensive de cette forêt devrait être contrôlée très strictement du point de vue de la regénération de ce milieu. La croissance de cette forêt sur un support calcaire pratiquement dépourvu de sol reste en effet, encore une énigme bien que ce soit un phénomène assez classique. L'alimentation hydrique d'une telle masse végétale nécessite des pénétrations racinaires très profondes dans les anfractuosités du relief karstique. Enfin l'alimentation minérale reste essentiellement liée à un cycle des éléments minéraux par l'intermédiaire de la matière organique. Ce milieu apparaît donc comme particulièrement fragile et devra être exploité, s'il l'est, avec précautions.

(Pongamia pinnata *Papilionaceae), the manavi* (Koelreuteria elegans *Sapindaceae), the bau* (Pittosporum brackenridgei *Pittosporaceae) or the nunu or banian* (Ficus sp. *Moraceae), which are used locally. However, its timber reserves are unlikely to be enormous especially as the traditional methods hitherto employed waste a great many timber trees for lack of transport. Stocks should be large enough to occupy a small village saw-mill but more intense exploitation of the forest should be very strictly supervised to ensure regrowth. The growth of such a forest on an almost soilless limestone base is, in fact, still a puzzling though well-established phenomenon. Vegetation on this scale would need very deep roots exploring the fissures of the karstic formations to obtain sufficient water. Mineral needs are still mainly dependent on a cycle of mineral nutrients released by the organic matter. It is therefore a particularly fragile environment which should be exploited, if at all, with prudence.*

6 - UTILISATION DES TERRES

L'intérieur de Kabara étant, par sa nature calcaire presque entièrement dépourvu de sols arables et d'un accès extrêmement difficile, les jardins de culture de subsistance et les plantations de cocotiers n'occupent qu'une faible partie de l'île. Les modes d'utilisation des terres peuvent être classés en quatre grandes catégories qui font apparaître la prédominance de la forêt naturelle (tableau n° 22).

Tableau 22
Grandes catégories de l'utilisation des terres à Kabara

Utilisation des terres	Superficie (ha)	Pourcentage[1]
Jardins de culture de subsistance	104	1.98
Plantations de cocotiers	229	4.36
Forêt naturelle	4935	93.74
Villages	22	0.38

1. L'excédent de 0,46 % s'explique par la juxtaposition de cocoteraies et de jardins vivriers dans les plaines côtières.

6.1 - Jardins de culture de subsistance

Les jardins de culture de subsistance se trouvent essentiellement sur les sols volcaniques de la colline de Delaioloi et sur les colluvions de bas de pente, mais aussi ailleurs, notamment sur les sols sableux des plaines côtières et sur de petites poches de sols volcaniques recouvrant la formation calcaire de l'intérieur. La région volcanique peut se diviser en trois zones qui ont chacune leur système de culture. Les pentes supérieures du Delaioloi, qui représentent 15 % du secteur ont été très touchées par l'érosion qui a limité l'agriculture presque exclusivement à la culture de la patate douce dont l'enracinement est peu profond. Une très grande partie de cette zone reste en jachère. La plantation de grandes herbes suivant les courbes de niveau est une initiative récente — encore que tardive — visant à arrêter la dégradation du sol des pentes supérieures. Les pentes occidentales du Delaioloi, qui donnent sur la côte, sont elles aussi escarpées et sujettes à l'érosion, bien que vers le bas, où le

6 - LAND USE

Because the limestone interior of Kabara is mostly devoid of cultivable soils and extremely difficult of access only small portions of the island are under subsistence gardens or coconut plantations. Land use on the island can be categorized into four broad classes which illustrate the predominance of natural forest (Table 22).

Table 22. — Main categories of land use on Kabara

Land use	*Area (ha.)*	*Percent.*[1]
Subsistence gardens	104	1.98
Coconut plantations	229	4.36
Natural forest	4 935	93.74
Villages	22	0.38

1. Footnote : There is an excess of 0.46 % due to the overlap of coconuts and food gardens on the coastal plains.

6.1 - Subsistence gardens

The main location of subsistence gardens is on the volcanic soils of Delaioloi and its colluvial lower slopes but there is also significant use of other areas including portions of the coastal sand plains and small pockets of volcanic soils overlying the limestone formation of the interior. The volcanic area can be subdivided into three zones which have different cropping patterns. The upper slopes of Delaioloi, which make up 15 % of the area, have been severely affected by soil erosion which has restricted agriculture almost entirely to the cultivation of the shallow rooted sweet potato. A very large portion of this area is in fallow. Contour planting of tall grasses is a recent if belated introduction attempting to arrest further soil loss from the upper slopes. The coastal or western slopes of Delaioloi are also steep and prone to erosion although downslope where the soil deepens a wider range of crops is cultivated. The most important of these is cassava which is often found in association with sweet potato and occasionally bananas. Few other crops are grown in this zone apart from small patches of bele

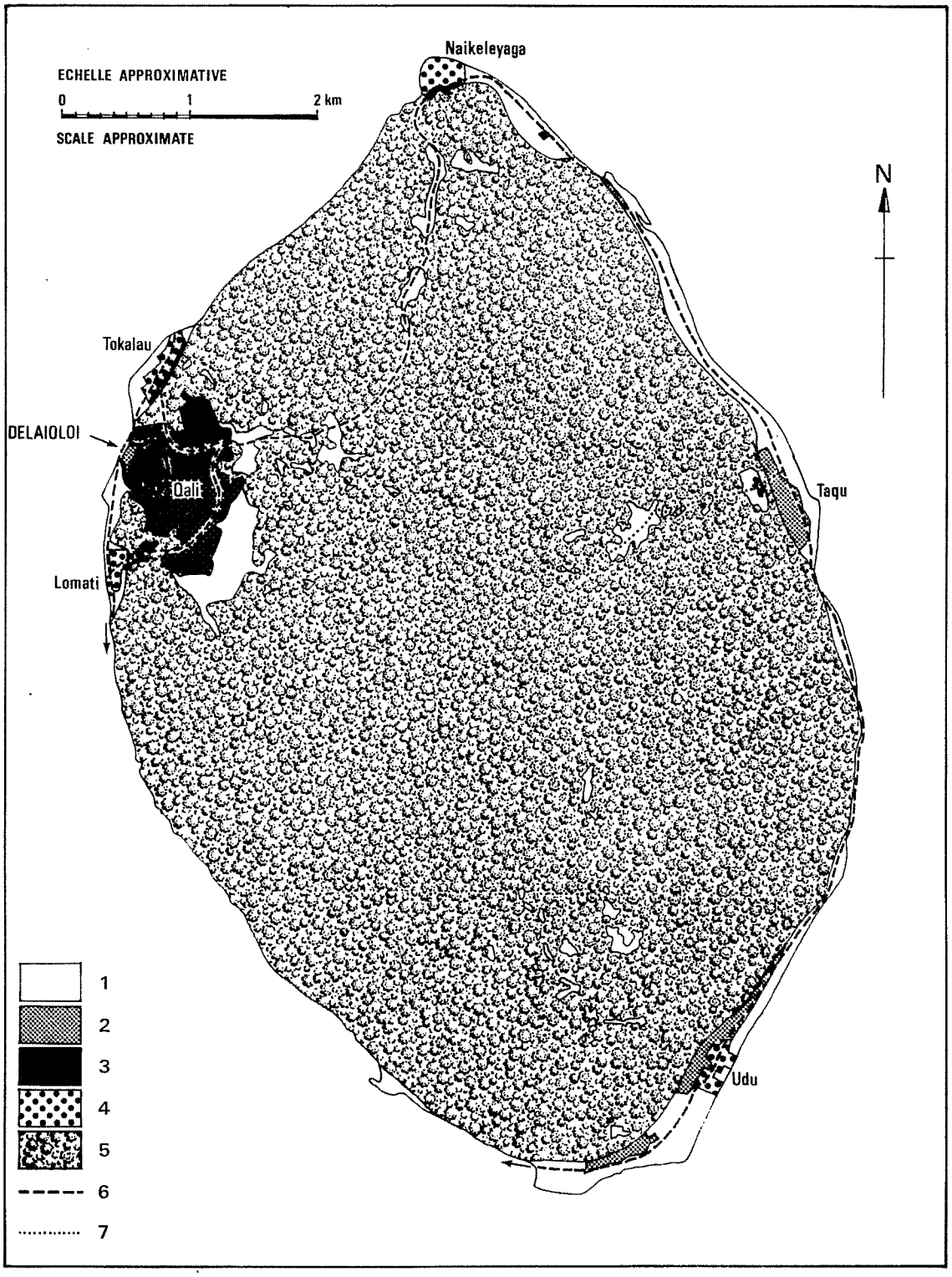


Figure 17 : Kabara, utilisation des terres
Kabara, land use.

1 cocotiers, *coconuts;* 2 plantations sous cocotiers, *gardens under coconuts;* 3 plantations, *gardens;* 4 zones non agricoles, *non agricultural;* 5 forêt, *forest;* 6 chemins utilisés actuellement, *tracks presently in use;* 7 chemins abandonnés, *tracks no longuer used*

sol est plus profond, il y ait une plus grande variété de cultures. La plus importante d'entre elles est le manioc, que l'on trouve souvent associé à la patate douce et parfois à la banane. Il y a peu d'autres cultures, sinon quelques petits lopins de *bele (Abel-moschus manihot)* au bas des pentes.

La troisième zone de cultures, la plus importante, située sur les terres volcaniques, est celle des colluvions de bas de pente orientées vers l'intérieur des terres. Elle couvre une superficie de 65 hectares, soit 83 % de la région volcanique et 60 % de toute la surface consacrée aux jardins à Kabara. La culture principale est celle du manioc qui, comme dans d'autres régions de l'île, est souvent associé à la patate douce (le manioc étant planté entre les plants de patates). Contrairement à cette dernière, dont le cycle est limité (les plantations se font généralement d'avril à août), le manioc peut être cultivé à n'importe quelle période de l'année. Les temps de jachère sur ces colluvions sont courts, ce qui est sans doute l'une des principales raisons de l'épuisement du sol dans cette zone. L'igname *(uvi : Dioscorea alata* et *tivoli : Dioscorea mummularia)* est parfois cultivée, en général en association avec de petits peuplements de taro et de *Xanthosoma.* Si aucune de ces variétés ne fait preuve de progrès spectaculaires, la combinaison des deux dernières est particulièrement problématique : elles produisent une quantité raisonnable de denrées vivrières mais ne fournissent pas régulièrement de matériel végétal pour la multiplication. Les parcelles de taro observées en 1976 avaient été plantées à partir d'un matériel végétal envoyé à Kabara à titre de secours à la suite des destructions dues aux cyclones tropicaux de 1973 et 1975. Il y a aussi beaucoup d'autres cultures dans cette zone agricole, la plus fertile de l'île, notamment le *bele,* le maïs, le chou pommé, le piment, l'oignon et la courge, qui sont toutes d'importance très secondaire par rapport aux produits de base que sont le manioc et la patate douce.

La plaine côtière de Kabara a une surface totale de 165 hectares, soit 3,13 % de l'ensemble de l'île. On n'y trouve de cultures vivrières que sur 24 hectares, pour la plupart sous cocoteraie. Les jardins côtiers se trouvent près d'Udu et de Taqu et sont presque entièrement consacrés à la culture du manioc, parfois associé à la patate douce ; leur production ne sert qu'à compléter les ressources des cultivateurs d'Udu et de Naikeleyaga, qui ont aussi des jardins sur Delaioloi. Les petites poches de sol volcanique à l'intérieur de l'île ne sont plus utilisées comme jardins de culture de subsistance, à l'exception de moins d'un hectare au-dessus de Taqu, exploité par la population de Naikeleyaga, qui y fait pousser une grande variété de cultures, bien qu'en très faibles quantités.

6.2 - Cocoteraies

L'industrie du coprah fournit, en temps normal, l'essentiel des revenus de l'île, bien que, comme cela a été démontré après les ouragans des années 70, l'élément monétaire de l'économie de Kabara soit extrêmement vulnérable aux catastrophes naturelles. En règle générale, la production de coprah s'élève en moyenne à une centaine de tonnes par an, provenant pour la plupart des plantations littorales d'accès facile, qui représentent 62,5 % de l'ensemble des cocoteraies. En fait, les seules zones des plaines côtières qui ne soient pas consacrées à la production de noix de coco sont les quatre sites villageois. Si les plantations du littoral remontent aux tout débuts de l'économie marchande dans l'île, les cocoteraies de l'intérieur ont été plantées bien plus récemment, surtout au cours des années 50. On les trouve souvent échelonnées le long des pistes de l'intérieur et autour des jardins du Delaioloi. Outre le fait que les récoltes y sont généralement médiocres, cette répartition s'explique par les

(Abelmoschus manihot) *which are cultivated near the slope base.*

The third and most important cultivation zone on the volcanic soils consists of the inland facing colluvial slopes which cover an area of 65 ha. or 83 % of the volcanic area and 60 % of all Kabaran garden land. Cassava is the dominant crop and as in other areas of the island is often found in association with sweet patato, the cassava being interplanted between the sweet potato mounds. Unlike sweet potato which has a restricted growing season (it is usually planted from April through August) cassava can be grown at any time of the year. Fallow periods for this staple on the colluvium are short and could be a major contributor to soil exhaustion in this area. Yams (uvi - Dioscorea alata *and* tivoli - Dioscorea mummularia) *are sometimes cultivated, frequently in association with small stands of taro and* Xanthosoma. *While none of these cultivars show spectacular progress the latter pair are particularly problematic in that they produce a reasonable food supply but are not reliable producers of viable planting material. The plots of taro observed in 1976 were derived from planting materials sent to Kabara as relief supplies following severe tropical cyclones in 1973 and 1975. Many other crops are also cultivated on this, the most fertile of the island's agricultural areas. They include* bele, *corn, English cabbage, chilli, onions and pumpkin, all of which are very much secondary in importance to the major staples of cassava and sweet potato.*

The total area of the coastal plain on Kabara is 165 ha. or 3.13 % of the total land area. Of this only 24 ha. is in food crops, most of which are found under coconuts. The coastal gardens are located near Udu and Taqu and are used almost entirely for the cultivation of cassava with occasional interplanting of sweet potatoes. They serve only as supplementary gardens for farmers from Udu and Naikeleyaga who also maintain gardens on Delaioloi. Small areas of volcanic soil found in isolated pockets in the island interior have lost their former use as subsistence gardens with the exception of less than one hectare located above Taqu. It is gardened by the Naikeleyaga people who grow a wide variety of crops there although the amounts are very small.

6.2 - Coconut plantations

The copra industry in normal times provides the backbone of the island cash economy although as was evidenced following the hurricanes of the 1970's the monetary component of the Kabara economy is extremely fragile in the face of natural disaster. Usually copra production averages about 100 tons per annum and most of this comes from the easily accessible littoral plantations which comprise 62,5 % of all land under coconuts. In fact the only areas of the coastal plains not used for coconut production are the four village sites. Whereas the origin of the littoral plantations can be traced back to the early stages of the introduction of the cash economy to the island, the inland coconuts were planted much more recently, mostly in the 1950's. These plantations are commonly found scattered at intervals along tracks through the interior and surrounding the gardens of Delaioloi. This in addition to the generally poor harvests from these palms reflects the difficulties of access over the limestone basin compared to the coastal zone. Small amounts of copra are also collected from Waqava, Tavuna Sici, and Marabo : three offlying islands which belong to Kabara mataqali.

difficultés d'accès sur le plateau calcaire, diffficultés que ne présente par la zone côtière. On cultive aussi de petites quantités de coprah à Waqava, Tavuna Sici et Marabo, trois îles côtières appartenant aux mataqali de Kabara.

6.3 - La forêt naturelle

La très grande forêt naturelle de Kabara se caractérise par d'abondants peuplements de *vesi (Intsia bijuga)* et de *bau (Pittosporum brackenridgei)*. Ces bois durs, utilisés pour la production de *tanoa* (bols à kava) et d'autres objets d'artisanat importants, sont à l'origine de l'excellente réputation d'artisans dont jouissent les habitants de Kabara dans l'ensemble de l'archipel. A la suite des cyclones dévasteurs de ces dernières années, cette réputation leur a permis de compenser en partie leurs pertes monétaires, grâce à la production d'objets artisanaux vendus aux touristes à Suva. La valeur de la forêt naturelle en tant que ressource vivrière a considérablement diminué depuis 1933, date à laquelle Thompson (1940) avait entrepris son travail de recherche ethnographique sur l'île. A l'époque, il avait été noté que la population d'Udu avait très peu de jardins et tirait principalement sa subsistance du « bon terrain de brousse comportant un grand nombre d'arbres fruitiers » (p. (p. 127). Même les villageois installés tout près du Delaioloi étaient largement tributaires de plantes vivrières sauvages, donnant fruits, noix, tubercules et racines. Actuellement, la cueillette ne se pratique plus que de façon limitée et occasionnelle (agrumes, papayes et fruits de l'arbre à pain). La diminution de l'exploitation de l'intérieur se mesure à la détérioration de la plupart des pistes. Il n'en reste pas moins que la valeur de la forêt naturelle en tant que source de produits vivriers ne doit pas être sous-estimée ; lorsque la production des jardins est déficitaire (par exemple, après des catastrophes naturelles), son importance réapparaît.

CONCLUSION

Ainsi Kabara appartient à un ensemble d'atolls surélevés observé dans le sud des îles Lau. Comme la plupart des atolls surélevés du Sud-Ouest Pacifique, c'est une île relativement monotone au point de vue écologique et aux ressources potentielles limitées. Le plateau calcaire, couvert de poches de sols bauxitiques et de forêt occupe plus de 90 % de la surface de l'île. Ce plateau et cette forêt sont pour l'instant très peu utilisés par la population. Celle-ci concentre ses cultures sur la colline volcanique de Delaioloi et son pourtour et ses plantations de cocotier sur la plaine côtière.

Ce milieu est toutefois particulièrement fragile. L'exploitation de la forêt peut être envisagée. Elle ne pourra toutefois se faire sans des précautions très strictes pour permettre sa régénération. L'intensification des cultures sur la colline de Delaioloi a entraîné une érosion sévère sur les pentes et un épuisement général des sols en potasse. Des tentatives ont depuis quelque temps été menées pour limiter ces dégradations, par l'implantation de haies de cyperacées en courbes de niveau pour limiter l'érosion et par l'utilisation de longues jachères. Un accroissement de la production sur ces terrains ne pourra toutefois être envisagé sans apport d'engrais.

6.3 - The natural forest

Abundant stands of vesi (Intsia bijuga) *and* bau (Pittosporum brackenridgei) *characterize the very large natural forest of Kabara. These hardwoods, used in the production of* tanoa *(kava bowls) and other important craft items, have provided the means by which the Kabarans have established a reputation throughout Fiji as excellent craftsmen. Following the recent disastrous cyclones this reputation enabled them to make good some of their cash losses by producing handicrafts for the Suva tourist market. The value of the natural forest as a food resource has declined considerably since 1933 when* THOMPSON *(1940) undertook ethnographic fieldwork on the island. At that time it was noted that Udu people had very few gardens but depended mainly on the « good bush land with many fruit trees » (p. 127). Even the villagers living closer to Delaioloi relied to a great extent on uncultivated food plants including wild fruits, nuts, tubers and roots. Today gathering persists only at a limit rate and in an almost casual manner involving the occasional collecting of such fruits as citrus, papaya and breadfruit. The degree to which use of the island interior has decreased is witnessed by the deteriorated state of most of the island's internal tracks. Nevertheless the value of the natural forest as a food source should not be discounted and during periods of garden failure (e.g. following natural disasters) it becomes very important.*

CONCLUSION

Kabara is one of the uplifted atolls to be found in southern Lau. Like most uplifted atolls in the south-west Pacific, it is relatively uniform ecologically and its potential resources are limited. The limestone plateau, with its forest and pockets of bauxitic soils, covers over 90 % of the land area. At present, the plateau and forest are very little used by the population, who concentrate their farming activities on the volcanic hill of Delaioloi and its lower slopes and their coconut plantations on the coastal plain.

This environment, however, is particularly fragile. It should be possible to make use of the forest but this should not be done without taking very strict precautions to ensure regrowth. More intensive cultivation on the hill of Delaioloi has led to serious erosion of the slopes and a general potassium deficiency of the soil. Recently, attempts have been made to halt further degradation by planting hedges of Cyperraceae along the contours to reduce erosion and by using long fallows. No increase in production could be envisaged on this land without the addition of fertilizer.

D - NAIRAI ET BATIKI:
deux petites îles volcaniques d'âge relativement récent

Nairai et Batiki sont deux petites îles volcaniques du groupe Lomaviti, situées à une centaine de kilomètres au nord ouest de Suva. Elles font partie d'un ensemble d'îles volcaniques de même âge comprenant notamment Makogai, Wakaya et Gau. Batiki la plus petite de ces îles couvre environ 9 km2. Elle est constituée par une masse de collines aux formes arrondies qui culminent à 175 m. Elle est bordée par des plaines alluviales assez étroites. Nairai est plus étendue (28 km2) et présente un relief plus vigoureux. Une chaîne de colline en forme de croissant, reliquat d'un ancien cratère, partage l'île en deux : un flanc Ouest à pente moyenne, présentant de nombreux replats et un flanc Est à très forte pente. Les sommets de cette île sont couverts de forêt. Les plaines côtières sont assez larges.

1 - GEOLOGIE ET CLIMAT

Nairai et Batiki sont formées d'une masse volcanique basaltique. D'après COULSON (1975) il s'agirait principalement de basaltes à augite. Quelques affleurements d'andésite pourraient toutefois être observés. L'ensemble de ces formations serait daté du Pliocène inférieur.

Le climat sur ces îles est relativement humide. Il pleuvrait d'après TWYFORD et WRIGHT (1965) plus de deux mètres par an en moyenne. Ces auteurs envisagent sur Nairai une dissymétrie pluviométrique entre la côte est, au vent, qui serait soumise à une saison sèche faible à très faible et à une pluviométrie moyenne annuelle comprise entre 2000 et 3250 mm et une côte ouest, sous le vent, présentant une saison sèche modérée et une pluviométrie moyenne comprise entre 2000 et 2500 mm. La température moyenne annuelle serait de 25°5 C.

2 - SOLS

Les sols de ces deux îles appartiennent d'après TWYFORD et WRIGHT (1965) aux grands groupes de « nigrescent soils », des « ferruginous latosols » et des « humic latosols ». Dans la légende F.A.O. (1975) ces sols correspondraient à des « eutric cambisols » pour les « nigrescent soils », à des ferralic cambisols pour les « ferruginous latosols » et à des humic ferrasols pour les « humic latosols ». Sur la plaine côtière on observe des rendzinas et des eutric fluvisols.

a) Les eutric cambisols

Les eutric cambisols couvrent sur Batiki la presque totalité des collines de l'île ; seules quelques taches de ferralic cambisols peuvent être reconnues par ailleurs. Sur Nairai par contre l'extension de ces sols est plus restreinte. Elle semble toutefois supérieure à celle indiquée par TWYFORD et WRIGHT.

Ces sols sont peu épais, de couleur brune et de texture argileuse. La roche altérée affleure en de nombreux endroits. Ils

D - NAIRAI AND BATIKI :
two relatively recent small volcanic islands

Nairai and Batiki are two small volcanic islands of the Lomaiviti group, about one hundred kilometres north-west of Suva. They belong to a set of volcanic islands of the same age which also includes, among others, Makogai, Wakaya and Gau. Batiki, about 9 km2 in area, is the smallest of these islands and is composed of a mass of rounded hills (highest point 175 m) surrounded by rather narrow alluvial plains. Nairai is larger (28 km2), with a more vigorous landscape. A crescent-shaped chain of hills, the remains of an ancient crater, divides the island in two — a western flank with moderate slopes and many shoulders and a very steep eastern flank. The hilltops are under forest and the coastal plains fairly wide.

1 - GEOLOGY AND CLIMATE

Nairai and Batiki are formed of a basalt volcanic mass composed, according to COULSON (1975), chiefly of augite basalt flows with a few outcrops of andesite. All these formations probably originated during the Lower Pliocene.

The climate is relatively wet : TWYFORD and WRIGHT (1965) give a mean annual rainfall of over two metres and suggest that Nairai's windward eastern coast, subjected to a weak to very weak dry season and a mean annual rainfall ranging from 2 000 to 3 250 mm, is wetter than its leeward coast, where there is a moderate dry season and between 2 000 and 2 500 mm of rain per year. The mean annual temperature is given as 25.5 °C.

2 - SOILS

According to TWYFORD and WRIGHT (1965), the soils of both islands belong to the major groups of « nigrescent soils », « ferruginous latosols » and « humic latosols » corresponding, in the FAO legend (1975), to eutric cambisols, ferralic cambisols and humic ferralsols respectively. Rendzinas and eutric fluvisols are found on the coastal plain.

a) The Eutric Cambisols

On Batiki, these soils cover virtually all the hills, with only a few patches of ferralic cambisols here and there. On Nairai, however, they cover less of the land though more, it seems, than noted by TWYFORD and WRIGHT.

They are shallow, brown in colour and clayey in texture with weathered rock breaking the surface in many places. They are very similar to soils of the same type encountered on Lakeba. No analysis was made but they seem of relatively poor fertility on Batiki, where the low type of reed thicket vegetation

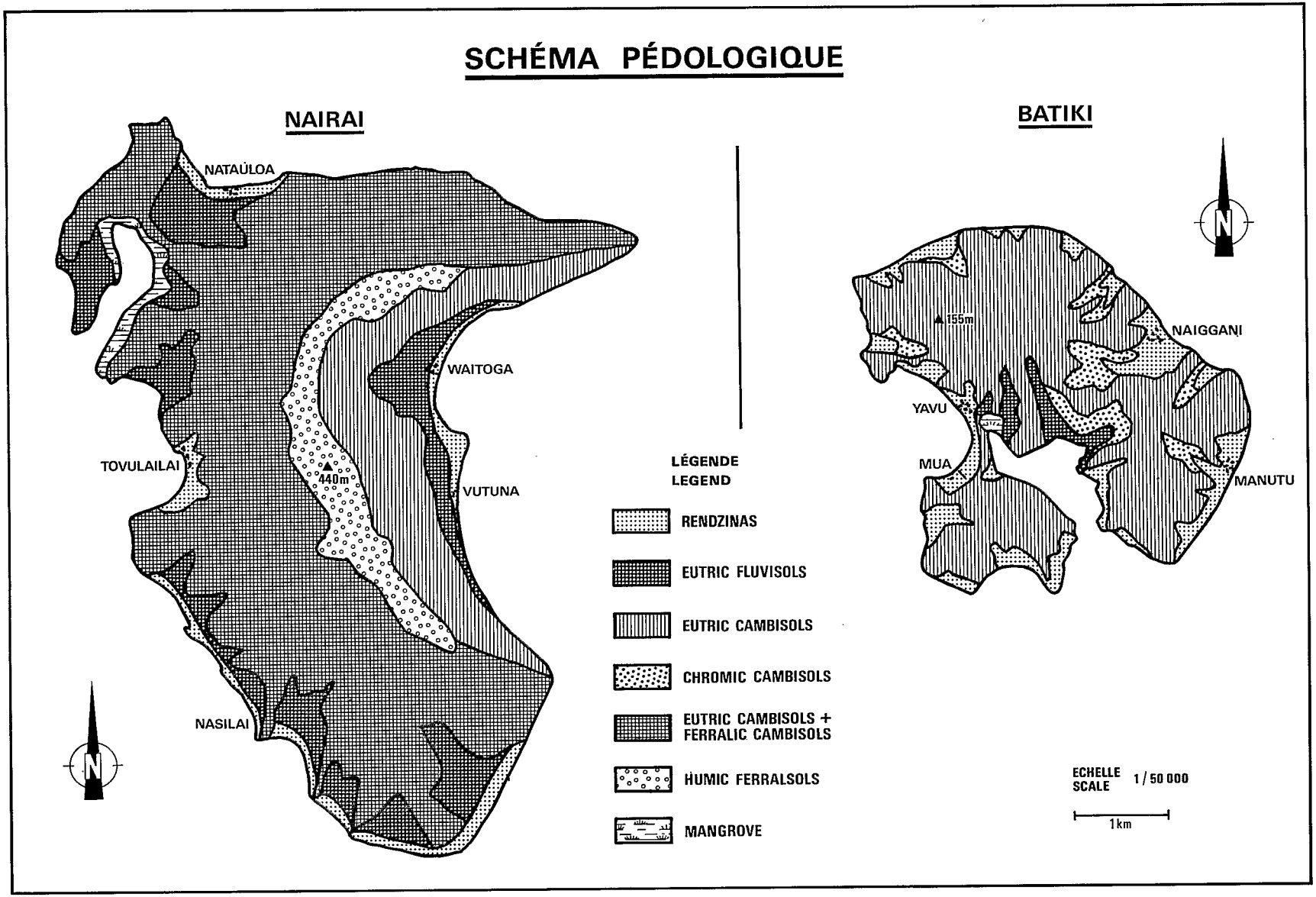


Figure 18 : Nairai et Batiki, schéma pédologique
Nairai and Batiki, pedological scheme

sont très comparables aux sols du même type observés sur Lakéba. Aucune analyse n'a été effectuée sur ces terrains, mais ils paraissent relativement peu fertiles sur Batiki où la végétation de fourrés à roseaux dominante est basse. Sur Nairai par contre, en particulier sur les versants est, cette végétation est beaucoup plus dense indiquant une fertilité naturelle supérieure. Les possibilités de mise en culture de ces terres sont assez restreintes. Des plantations sont toutefois installées à proximité des thalwegs ou en position de bas de pente, dans les secteurs où les sols sont plus profonds et plus humides. Dans le Sud-Est de Batiki des pâturages ont été installés sur ces terres.

b - Les ferralic cambisols

Les ferralic cambisols se développent principalement sur le versant Ouest de Nairai. Ce sont des sols peu épais, argileux, de couleur brun rouge à structure fragile. Un horizon d'altération épais apparaît à faible profondeur. Ces sols sont très peu fertiles et ne sont généralement pas utilisés pour les cultures. Seule une fougeraie à *Dicranopteris linearis* s'y développe. Des plantations de pins des Caraïbes ont été réalisées dans le Nord de Nairai sur ces terres. Ces pins semblent avoir une croissance relativement lente due en particulier à des feux répétés.

c - Les humic ferralsols

Les humic ferralsols occupent les sommets de Nairai. Ils se développent sous une végétation de forêt ou de jachère. Ils comprennent un horizon humifère argileux, de couleur brune, bien structuré surmontant un horizon brun rouge, argileux aussi, d'épaisseur moyenne. Ces sols assez fertiles font l'objet de nombreuses cultures après défrichement de la forêt. Ces cultures sur fortes pentes provoquent toutefois des érosions intenses.

d - Les eutric fluvisols et les rendzines

Les eutric fluvisols et les rendzines se forment sur les plaines côtières de ces deux îles. Les rendzines apparaissent généralement en bord de mer quand les eutric fluvisols se forment de préférence au pied des collines. Ces sols ont en commun la présence d'un horizon humifère très développé qui leur donne leurs caractères de fertilité. Ils sont très utilisés pour les cultures, les plantations de cocotiers et éventuellement les pâturages. Ils apparaissent toutefois comme à Lakéba relativement sous utilisés vu leur potentiel agrologique.

Les sols de ces deux îles apparaissent donc d'une façon générale comme peu développés. Les cambisols et les fluvisols dominent quand les ferralsols sont eux-mêmes peu profonds. Ces sols paraissent en particulier beaucoup moins développés que ceux observés sur Lakéba, ce qui est peut-être dû à la plus grande jeunesse du matériau volcanique.

3 - LE POTENTIEL AGRICOLE DE CES ÎLES

Le potentiel agricole de ces îles est relativement faible comme cela avait déjà été souligné par TWYFORD et WRIGHT. Ceci tient tant à une faible étendue des surfaces cultivables qu'à des pratiques culturales souvent mal adaptées.

Parmi les sols cultivables on ne peut citer sur ces îles que les sols des plaines côtières (eutric fluvisols et rendzines), certains eutric cambisols sur faible pente et, avec des précautions antiérosives, les humic ferralsols de Nairai. Ces deux dernières catégories de sol sont souvent déjà très dégradées par une érosion superficielle importante et leur gestion doit se faire avec de grandes précautions. On a ainsi noté d'importantes ravines d'érosion dans un pâturage sur eutric cambisols à Batiki. Par

predominates. By contrast, on Nairai, and particularly on its eastern slopes, this vegetation is much more dense and indicates a greater natural fertility. Agricultural potential is rather limited, though plantations have been established near the thalwegs or at the bottom of the slopes, in areas where the soils are deep and more humid. In south-east Batiki, pastures have been laid on this land.

b) The Ferralic Cambisols

These soils have developed mainly on the western slopes of Nairai. They are shallow, clayey, brownish-red in colour and fragile, with a thick weathering horizon quite near the surface. Fertility is very low and they are not normally used for raising crops. Vegetation is limited to fern thicket with Dicranopteris linearis, *but Caribbean pine have been planted on this land in the north of Nairai. These pines appear to grow rather slowly, mainly because of regular fires.*

c) The Humic Ferralsols

The humic ferralsols are found on the hilltops of Nairai, under forest or a fallow vegetation. They have a clayey, well-structured humiferous horizon, brown in colour, on top of a clayey brownish-red horizon of medium depth. After forest clearance, these fairly fertile soils are used to grow a variety of crops but their cultivation on steep slopes causes severe erosion.

d) The Eutric Fluvisols and Rendzinas

These soils have formed on the coastal plains of both islands. The rendzinas are generally found beside the sea whereas the eutric fluvisols prefer the foot of the hills. A common feature is the presence of a highly developed humiferous horizon, which accounts for their fertility. They are extensively used for crops, coconut plantations and, in some cases, for pasture but, as on Lakeba, their agrological potential seems relatively under-utilized.

In short, the soils of these two islands are generally rather immature. The cambisols and fluvisols predominate, whereas the ferralsols are shallow. They appear much less mature than on Lakeba in particular, possibly because the volcanic material is younger.

3 - AGRICULTURAL POTENTIAL

These islands, as TWYFORD and WRIGHT noted, have a rather low agricultural potential, as much because of the shortage of cultivable land as because of frequently inappropriate cropping practices.

The only cultivable soils on these islands are those of the coastal plains (eutric fluvisols and rendzinas), certain eutric cambisols on gentle slopes, and — with precautions to prevent erosion — the humic ferralsols of Nairai. In many cases, the last two soils have already been very degraded by extensive erosion of the surface and great caution should be exercised in their management. On Batiki, for example, large ravines due to erosion were observed in a pasture on eutric cambisols.

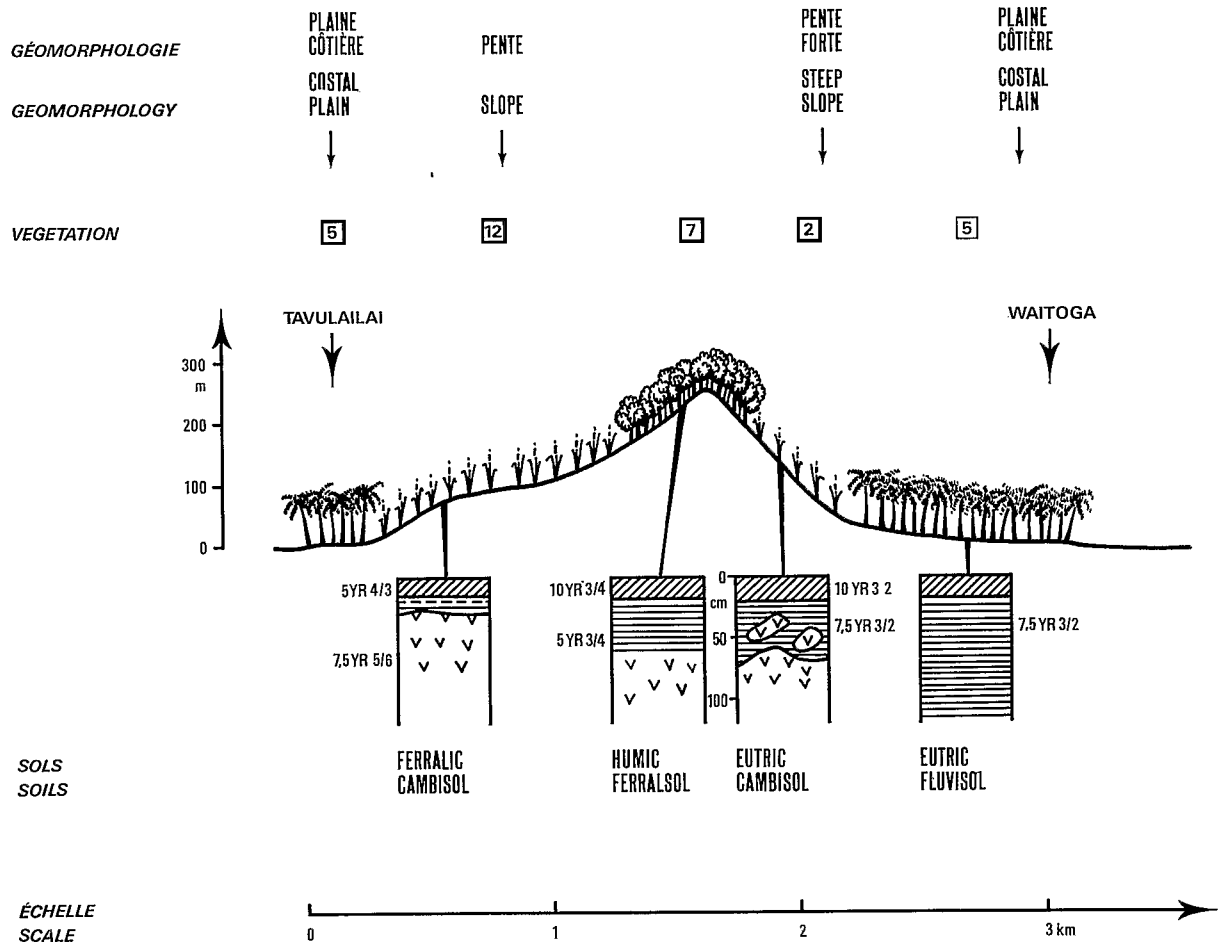


Figure 19 : Nairai, toposéquence
Nairai, toposequence

(2) fourré à roseaux, *reed thicket;* (5) cocoteraie, *coconut grove;* (7) forêt dense, *evergreen forest;* (12) Talasiga et fourré à roseaux, *Talasiga and reed thicket.*

ailleurs il semble bien que la forêt sur Nairai ait tendance à reculer sous l'effet des défrichements, de jachères trop courtes et des feux. Seuls les sols des plaines ont donc un potentiel agricole certain. Or ces plaines sont souvent sous utilisées. Comme pour Lakéba, une cocoteraie, souvent assez vieille, les occupe. Sous cette cocoteraie certaines cultures sont pratiquées, mais au prix de grandes difficultés dues principalement au bétail divagant. Il y a ainsi dans ces plaines une très nette concurrence entre l'élevage et l'agriculture, l'extension de l'élevage sans clôture, poussant la population à cultiver les terres éloignées de pente et des zones sommitales après défrichement.

Moreover, the forest on Nairai is showing a tendency to shrink as a result of clearance operations, fallows that are too short, and fire. Thus only the soils on the coastal plains have an undoubted agricultural potential, but these plains are often underutilized since, as on Lakeba, they are occupied by coconut groves that are often quite old. Certain crops are grown under the palms but with great difficulty, largely because of the wandering livestock : there is obvious competition between stock-rearing and agriculture on these plains and the growing number of free-ranging livestock obliges the local population to cultivate distant plots on the slopes and to clear the hilltops for cropping.

4 - VEGETATION

La végétation de ces deux îles est une végétation pyrophite à l'exception des plaines côtières et de la zone sommitale de Nairai. Il s'agit principalement sur les collines de Batiki d'un fourré à roseaux (fruticée sempervirente à *Miscanthus floridelus)*. Au sein de cette formation on retrouve de façon dispersée des espèces arborées ou arbustives : *Ficus tinctoria, Cerbera manghas Pandanus odoratissimus* et une espèce lianescente *Erechtites valerianifolia.* Ces fourrés à roseaux sont aussi assez développés sur Nairai. Sur le versant est de l'île, ils sont beaucoup plus denses que sur Batiki. En association avec ces fourrés, on observe sur Nairai principalement des fougeraies basses à *Dicranopteris linearis* (Talasiga). Les fougeraies sont souvent dominées par une strate arborée claire à *Casuarina equisetifolia.* Cette formation correspond à la fougeraie à *Dicranopteris linearis* et à synusie ligneuse réduite observée à Lakéba.

Le sommet de Nairai est couvert par une forêt sempervirente ombrophile. Cette forêt est parsemée de nombreuses zones défrichées ou en jachères. Ces jachères sont très rapidement recouvertes après abandon des cultures par des lianes *Mikania micrantha* (mile a minute) ou *Ipomea sp.*

Enfin les plaines alluviales et côtières sont le domaine de la cocoteraie et dans certains secteurs très limités sont bordées par une mangrove.

Ainsi la végétation de ces deux îles apparaît très secondarisée à l'exception de quelques secteurs de la forêt sommitale de Nairai.

4 - VEGETATION

These two islands, on all but the coastal plain and hilltops of Nairai, have a pyrophytic vegetation. The hills of Batiki are mainly covered by evergreen reed thicket with Miscanthus floridulus, *with a scattering of tree and shrub species such as* Ficus tinctoria, Cerbera manghas, Pandanus odoratissimus *and a creeper,* Erechtites valerianifolia. *Similar reed thickets have also developed fairly well on Nairai and are, in fact, more dense on that island's eastern slopes than on Batiki. On Nairai, the reed thickets are associated chiefly with low ferns containing* Dicranopteris linearis *(talasiga). The fern thickets are often overlooked by an open tree stratum with* Casuarina equisetifolia. *This formation corresponds to the fern thicket with* Dicranopteris linearis *and the poor woody synusia observed on Lakeba.*

The uplands of Nairai are covered by an evergreen ombrophilous forest, with a large number of scattered areas which have been cleared or are lying fallow. When cultivation is abandoned, these fallow areas are quickly overgrown with creepers such as mile-a-minute (Mikania micrantha) *or* Ipomoea sp..

The alluvial and coastal plains are dominated by coconut groves and in certain very small areas bordered by mangroves.

Thus, apart from a few summit areas under forest on Nairai, the vegetation of these two islands appears largely of secondary growth.

5 - UTILISATION DES TERRES

Comme on l'a décrit plus haut, les zones de Nairai et de Batiki qui sont effectivement cultivées ne représentent qu'une faible partie de la superficie totale. La majorité des collines sont couvertes de cambisols eutriques ou ferraliques et sont envahis par des broussailles ou par des fourrés ; ces zones n'ont actuellement presque aucune valeur économique. L'agriculture est concentrée sur les bas de pente, le long des thalwegs et dans la plaine côtière où le sol est plus profond, plus humifère et moins sensible à la sécheresse. Cependant, à Nairai, des cultures sont pratiquées après défrichement de la forêt, sur les ferralsols humiques près du sommet de l'île. Les nombreux vestiges de poteries que l'on peut trouver actuellement dans ces jardins donnent à penser que dans le passé les activités agricoles se concentraient dans les mêmes zones.

5 - LAND USE

As described above, the areas on Nairai and Batiki which are actually cultivated are only a small fraction of the total area. Most of the hill slopes have eutric or ferralic cambisols and are under scrub or grass-land, and at present these areas have almost no economic value. Agriculture is concentrated in sites near the base of slopes, along valley bottoms, and on the coastal plain, where the soils are deeper, more humic and less subject to drought. However on Nairai some shifting cultivation is practised on the humid ferralsols covered with forest, close to the summit of the island. The abundant potterie that can be found today in gardens on such sites suggests that in the past also agricultural activity was concentrated in these areas.

Subsistence crops

The great majority of the crops grown on these islands are

Cultures de subsistance

La plus grande partie des cultures pratiquées à Nairai et Batiki est destinée à la consommation familiale. Jadis, la nourriture de base traditionnelle était l'igname, le taro, le fruit de l'arbre à pain, le plantain et la noix de coco (BAYLISS-SMITH, 1978). Parmi ces produits, l'igname était produite en quantité suffisante pour être échangée contre d'autres produits avec les premiers commerçants européens ; en outre, des nattes et des paniers étaient fabriqués par les habitants qui en faisaient commerce dans l'archipel de Lomaiviti (WARD, 1972 ; WILKES, 1845). Mais en général, ces deux îles se suffisaient à elles-mêmes.

Toutes ces plantes sont encore cultivées, mais dans l'alimentation, l'igname et le plantain ont été largement remplacés par le manioc, introduit vers 1910. Sur les terrains les plus favorisés, on cultive toujours de l'igname dans le cadre d'un système de culture qui prévoit la plantation, dans les interlignes, de taro secs *(Colocasia)* et, sur les meilleures terres, de yaqona. Mais la plupart des cultivateurs centrent leurs efforts sur le manioc, qui est moins vulnérable à la sécheresse et peut s'accommoder de sols beaucoup plus pauvres.

Outre la manioc, d'autres cultures vivrières ont été introduites dans l'économie de subsistance, notamment le taro américain*(Xanthosoma),* de nouvelles variétés de bananes, de taro *Colocasia* et de canne à sucre, sans compter des fruits et des légumes mineurs tels que le chou, la tomate et la papaye. Ces cultures permettent une grande variété dans l'alimentation, mais leur quantité est négligeable par rapport au manioc.

Une enquête complète sur les cultures de subsistance des villageois de Yavu sur l'île de Batiki, en septembre 1974, nous fournit des données sur l'utilisation des terres (tableau 23). La surface totale consacrée aux cultures de plantes à racines et à tubercules était de 2,65 hectares et elle assurait aux 11 familles de Yavu (population totale : 83 habitants) environ la moitié de leur alimentation énergétique. 90 % de cette zone étaient plantés en manioc (avec une densité moyenne de 4.680 plants à l'hectare), 5 % en taro et seulement 3 % en ignames. Les autres taros *(Xanthosoma, Alocasia)* et les patates douces ne couvraient que des surfaces négligeables. En outre, plantains et bananes abondaient dans les champs de cultures à racines et à tubercules et représentaient un total de 365 plants (33 par famille). Les arbres à pain étaient également très répandus — en saison, leurs fruits constituent un élément important de l'alimentation.

Si nous supposons que l'utilisation des terres à Yavu est, dans l'ensemble, représentative de celle de Batiki et de Nairai, il ressort de ces données que l'économie actuelle (où racines et tubercules constituent à peu près 50 % de l'alimentation) exige une surface cultivée de 320 m2 par personne. Si nous supposons en outre que, en moyenne, le sol peut donner des récoltes pendant deux ans avant une jachère de dix ans, une superficie cultivée d'un peu moins de 2.000 m2 par personne est nécessaire (un ha pour 5 personnes). Or, à Batiki, les vallées fertiles et les meilleurs sols colluviaux représentent environ 220 hectares, indépendamment des rendzines des plaines côtières plantées en cocotiers. Nous pouvons donc calculer, à partir de ces données, que la capacité de charge maximale de Batiki est au moins deux fois supérieure à la population actuelle, ce qui confirme notre impression antérieure selon laquelle ces îles sont « sous-peuplées » : elles peuvent nourrir plus de personnes que maintenant, à niveau de vie égal (UNESCO/FNUAP, Appendice 8).

Cultures de rapport

La pénurie relative de terres qui existe malgré la « sous-population » mentionnée tient notamment au fait que nombre

still for home consumption. The traditional staples were yams, taro, breadfruit, plantains and coconuts (BAYLISS-SMITH, 1978). Of these, yams were grown in sufficient quantity to be available for barter with the early European traders, and in addition mats and baskets were produced by the islanders for trade within Lomaiviti (WARD 1972 ; WILKES 1845). In general, however, the island economics were self-sufficient.

Today all of these items are still produced, but in the diet yams and plantains have been largely replaced by cassava, first introduced around 1910. On the most favoured soils some yams are still grown, as part of a cropping system which involves interplanting with dry land taro (Colocasia) *and, on the best sites, yaqona. Most farmers, however, concentrate their efforts on growing cassava, which is less subject to drought and can tolerate much lower levels of soil fertility.*

As well as cassava there have been other food crops introduced into the subsistence economy. These include American taro (Xanthosoma), *new varieties of bananas, of* Colocasia *taro and of sugar cane, and minor fruits and vegetables such as cabbage, tomato and papaya. These crops provide a useful source of variety in the diet, but in quantitative terms they are unimportant by comparison with cassava.*

A complete survey of the subsistence crops grown by the villagers at Yavu on Batiki island in September 1974 provides us with data on present-day land use (Table 23). The total area cultivated for root crops was 2.65 ha, which provided the eleven

Table 23. — Land use at Yavu, Batiki island (population 83)

Category	*Crop*	*Number of households cultivating (11 maximum)*	*Total area in cultivation (m2)*	*Per cent of total area (%)*
Root crops	*Cassava*	11	24 006	100
	Yams	6	717	3
	Colocasia *taro*	5	1 404	5
	Xanthosoma *taro (dalonitana)*	3	219	< 1
	Alocasia *taro (via)*	2	174	< 1
	Sweet potatoes	1	15	< 1
	TOTAL	11	26 535	100
Plantains and bananas		11	*n.s.*	
Other vegetables	*Bele* (Abelmoschus)	5	*n.s.*	
	Chilly (Capsicum)	4	*n.s.*	
	Cabbage	2	*n.s.*	
	Egg plant (baigami)	2	*n.s.*	
	Tomato	1	*n.s.*	
*Fruits**	*Papaya*	5	*n.s.*	
	Sugar cane	4	*n.s.*	
	Pineapple	2	*n.s.*	
	Lemon	1	*n.s.*	

n.s. - not stated

** Not including coconuts, breadfruit, mango and Tahitian chestnut (ivi), trees of which are owned by all or most households.*

Tableau 23. — Utilisation des terres à Yavu, île de Batiki (population : 83 habitants)

Catégorie	Culture	Nombre de familles de cultivateurs (11 au maximum)	Surface cultivée totale (m2)	Pourcentage de la surface totale
Racines et Tubercules	Manioc	11	24 006	90
	Igname	6	717	3
	Taro *Colocasia*	5	1 404	5
	Taro *Xanthosoma* (dalonitana)	3	219	1
	Taro *Alocasia* (via)	2	174	1
	Patate douce	1	15	1
	TOTAL	11	26 535	100
Plantain & bananes		11		n.i.
Autres légumes	Bele*(Abelmoschus)*	5		n.i.
	Piment *(Capsicum)*	4		n.i.
	Chou	2		n.i.
	Aubergine (baigami)	2		n.i.
	Tomate	1		n.i.
Fruits*	Papaye	5		n.i.
	Canne à sucre	4		n.i.
	Ananas	2		n.i.
	Citron	1		n.i.

n.i. - non indiqué

* A l'exclusion des noix de coco, fruits à pain, mangues et noix de Tahiti (ivi) (presque toutes les familles possèdent quelques arbres portant ces fruits).

de meilleures terres sont actuellement occupées par des cocotiers, qui sont pratiquement la seule culture de rapport. Au cours de ces dernières années, la production annuelle de Nairai a oscillé entre 260 et 270 tonnes de coprah, et celle de Batiki entre 80 et 130 tonnes. Sur ces deux îles, les premières plantations de cocotiers ont été faites sur les rendzines de la plaine côtière, région où les sables coralliens ne se prêtent pas à d'autres possibilités d'utilisation du sol. Mais, petit à petit, les cocoteraies ont gagné l'intérieur le long des thalwegs et au pied des versants colluviaux, occupant des sols qui conviennent à des cultures très diverses. Sauf à faible densité, la couverture de cocotiers exclut pratiquement toute autre culture, ce qui n'est pas satisfaisant dans la mesure où en valeur réelle les recettes provenant du coprah sont en diminution depuis les années 50. De par leur proximité de marchés urbains, Nairai et Batiki pourraient y vendre racines, tubercules, légumes et fruits, trouvant là une source de profit qui pourrait se substituer au coprah si l'on supprimait les cocoteraies.

Actuellement, les autres cultures de rapport sont négligeables. L'artisanat (surtout fabrication d'articles en feuilles ou en fibre de Pandanus) constitue depuis quelques années une petite source supplémentaire de revenus ; la zone plantée en *Pandanus* (voivoi) a été étendue en 1975 dans l'espoir que la demande pour ce genre d'objets continuerait à s'accroître sur le marché de Suva.

households in Yavu (total population 83) with about half of their total food energy. Ninety per cent of this area was under cassava, planted at an avèrage density of 4680 mounds per hectare. Five per cent was under taro, and only 3 % was planted with yams. The other taros (Xanthosoma, Alocasia) *and sweet potatoes were even less important. In addition, plantains and bananas were planted extensively, in amongst the root crops, with a total of 365 plants (33 per household). Breadfruit trees were also widespread, and they make a substantial contribution to the diet during the fruiting season.*

If we take the land use at Yavu as being broadly typical of Batiki and Nairai as a whole, then these data imply that the present economy (where root crops supply about 50 % of the diet) requires 320 m2 in cultivation per person. If we further assume that on average the land will provide two years of crops before needing 10 years of fallow, then the total arable land requirement rises to just under 2 000 m2 per person, or 5 persons per hectare. On Batiki, the fertile valley bottoms and best colluvial soils occupy about 220 ha, not including the coastal rendzina flats under coconuts. From these data we can calculate that the maximum carrying capacity of Batiki is at least twice the size of the present population, thus confirming our earlier impressions that these islands are « underpopulated » in the sense of being able to support more people than at present at current welfare levels (UNESCO/UNFPA 1977, Appendix 8).

Cash Crops

One reason for the existence of some land shortage despite the state of « underpopulation » described above is that many of the best soils on these islands are at present occupied with coconuts, which are virtually the sole cash crop. Nairai has produced annually around 260-270 tons of copra in recent years, and Batiki 80-130 tons. On both islands the first plantings of coconuts were along the coastal rendzina flats, where the coralline sands are not well suited to other forms of land use. Increasingly, however, coconuts have extended inland along valley bottoms and the bases of colluvial slopes, on to soils well suited to a wide range of crops. Unless planted at low density, the coconut cover virtually excludes other crops from these sites, which is unsatisfactory in a situation where the real returns from copra have been in decline since the 1950's. Nairai and Batiki are both sufficiently close to urban markets for root crops, vegetables and fruits to be profitable alternatives to copra, if the coconuts were removed.

At present other cash crops are of very small importance. Handicrafts, mainly pandanus leaves and mats, have become a small supplementary source of income in recent years, and on Batiki the area under Pandanus *palms (voivoi) was being extended in 1975 in the hope that the Suva Market for these products would continue to expand.*

Livestock

The livestock holdings of the people of Nairai and Batiki are more substantial than elsewhere in the eastern islands — on Batiki, for example, there were 85 cattle, 62 pigs and 320 poultry in 1974, owned by the Fijian population of 250. On both islands, however, the hilly areas under Miscanthus *grassland or talasiga are almost totally unused, and the development of this land as pasture would be a worthwhile future development if the question of land ownership could be resolved.*

Bétail

Par rapport aux autres îles orientales, c'est à Nairai et à Batiki que la population possède le plus de bétail : ainsi, à Batiki, les 250 habitants Fidjiens possédaient en 1974, 85 bovins, 62 porcins et 320 têtes de volaille. Cependant, sur les deux îles les collines couvertes de fourrés à *Miscanthus* ou de talasiga sont presque complètement inexploitées ; la mise en valeur de ces terres sous forme de pâturage serait peut-être utile si l'on pouvait résoudre le problème de la propriété foncière.

CONCLUSION

Nairai et Batiki font ainsi partie d'un ensemble d'îles volcaniques d'âge relativement récent. Ces îles hautes représentent un milieu naturel peu différencié et très dégradé. Les sols sont principalement des cambisols et des fluvisols et la végétation des collines est dominée par des formations pyrophites : fourrés à roseaux et fougeraies basses à *Dicranopteris linearis*. Sur Nairai, une relique forestière peut être observée sur les zones sommitales, cette forêt est actuellement l'objet d'un grand nombre de défrichements par l'installation de cultures itinérantes. Les plaines alluviales et côtières sont par contre bien souvent ici encore sous-utilisées du fait de l'extension de la cocoteraie et d'un élevage non contrôlé.

CONCLUSION

Nairai and Batiki belong to a group of relatively recent volcanic islands. They are high-standing, with a rather uniform and very degraded natural environment. The soils are, for the most part, cambisols and fluvisols and the vegetation of the hills is dominated by pyrophytic formations : reed thickets and low fern thickets with Dicranopteris linearis. *On Nairai, the remnants of a forest may be observed on the hilltops but it is now being actively cleared in a great many places to make way for shifting cultivation. The alluvial and coastal plains, on the other hand, are often not used to the full because of the amount of land under coconuts and unfenced stock-rearing.*

Deuxième partie :

DYNAMIQUE DES SOLS ET DE LA VÉGÉTATION SOUS L'INFLUENCE HUMAINE

Part two

SOIL AND VEGETATION DYNAMICS UNDER THE INFLUENCE OF MAN

E - Sédimentation dans les zones marécageuses de Lakéba : conséquences sur l'érosion et l'occupation humaine de l'île

Dans la moitié orientale de Lakéba, les plaines alluviales et côtières sont parsemées de zones marécageuses. Ces marécages, dont l'extension peut atteindre plusieurs hectares, se présentent souvent en série le long des vallées. Cette répartition inhabituelle, dans une petite île volcanique soumise à un climat tropical, en constitue l'une des originalités. Les dépôts que l'on observe dans ces marais, sont rapidement apparus, au cours de la prospection et après quelques sondages, comme pouvant fournir l'une des clés de l'histoire de la sédimentation et de l'érosion dans ce milieu. Par voie de conséquence, ces dépôts, souvent très organiques, pouvaient permettre de reconstituer l'histoire de la végétation et de l'occupation humaine de l'île.

La première idée fut de tenter de reconstruire l'histoire floristique à partir de l'étude des pollens que pouvaient contenir ces sédiments. Des sondages furent effectués dans quatre marécages : deux marécages intérieurs, celui de Waitabu et celui de Nabuni et deux marécages subcôtiers, celui de Levuka et celui de Nasaqalau. Les examens palynologiques effectués d'abord à titre d'essai par J. POWELL puis de façon plus approfondie par J. FLENLEY et J. GUPPY du laboratoire de Géomorphologie de l'Australian National University se révélèrent toutefois décevants. Les pollens et les spores de fougère trouvés apparurent mal conservés.

Une étude de sédimentologie fut alors entreprise par P.J. HUGHES et G. HOPE sur les deux sondages intérieurs de Lakéba et a donné lieu à une note (HUGHES et al 1979).

Ce chapitre tend à faire la synthèse de l'ensemble des résultats obtenus sur le terrain et au laboratoire à propos de ces zones marécageuses. Il étudie plus spécialement trois marécages : celui de Waitabu dont le bassin versant est foresté et ceux de Nabuni et de Levuka dont les bassins versants sont couverts d'une végétation à Talasiga.

1 - MÉTHODOLOGIE ET CONDUITE DE L'ETUDE

1.1 - Travail de terrain

Les sondages ont été effectués en novembre 1977.

Un carottier à section en forme de D a été utilisé pour prélever les cinquante premiers centimètres du marécage de Waitabu et le premier mètre de celui de Levuka. Une tarière « Hiller », à clapet de fermeture, a servi pour les sédiments plus compacts constituant le reste des sondages de Waitabu et de Levuka et pour celui de Nabuni. Le sondage de Waitabu a été arrêté à 6,5 m par faute d'allonge, celui de Nabuni à 4,5 m et celui de Levuka 3 m du fait de la compacité du substrat.

E - Sedimentation in the swamps of Lakéba and its implications for erosion and human occupation of the island

The alluvial and coastal plains of the eastern half of Lakéba are scattered with swamps. These swamps, some of which cover several hectares, are often in a series of steps along the valley bottoms and this unusual arrangement, on a small volcanic island with a tropical climate, is one of Lakeba's peculiarities. In the course of reconnaissance and after a few borings, the deposits found in these swamps were quickly seen as possibly providing a key to the history of sedimentation and erosion in this environment. These deposits, often very organic, could therefore serve to construct the history of vegetation and human occupation of the island.

The initial plan was to attempt to reconstruct the floristic history by studying the pollens which the sediments might contain. Cores were taken from four swamps : two inland swamps (Waitabu and Nabuni) and two sub-coastal swamps (Levuka and Nasaqalau). Palynological examination, however, at first tried out by J. POWELL and then performed more thoroughly by J. FLENLEY and J. GUPPY of the Laboratory of Geomorphology of the Australian National University, produced disappointing results because the pollens and fern spores found were not in a good state of preservation.

A sedimentological study was then undertaken by P.J. HUGUES and G. HOPE on the two inland cores and was published as a Note (HUGUES et al. 1979).

The present chapter attempts to bring together field and laboratory findings in regard to these swamps. It concentrates on three of them, the Waitabu swamp with its forested catchment and those of Nabuni and Levuka, whose catchments are covered with a talasiga vegetation.

1 - METHODOLOGY AND ORGANIZATION OF THE STUDY

1.1 - Fieldwork

The cores were taken in November 1977.

A D-shaped core barrel was used to sample the first fifty centimetres of the Waitabu and the first metre of the Levuka swamps. A « Hiller » auger with a shut-off valve was used for the more compact sediments making up the rest of the cores taken at Waitabu and Levuka and for the Nabuni sample. At Waitabu, boring stopped at a depth of 6.5 m for lack of an extension, and at Nabuni and Levuka at 4.5 m and 3 m respectively because the substratum was too compact.

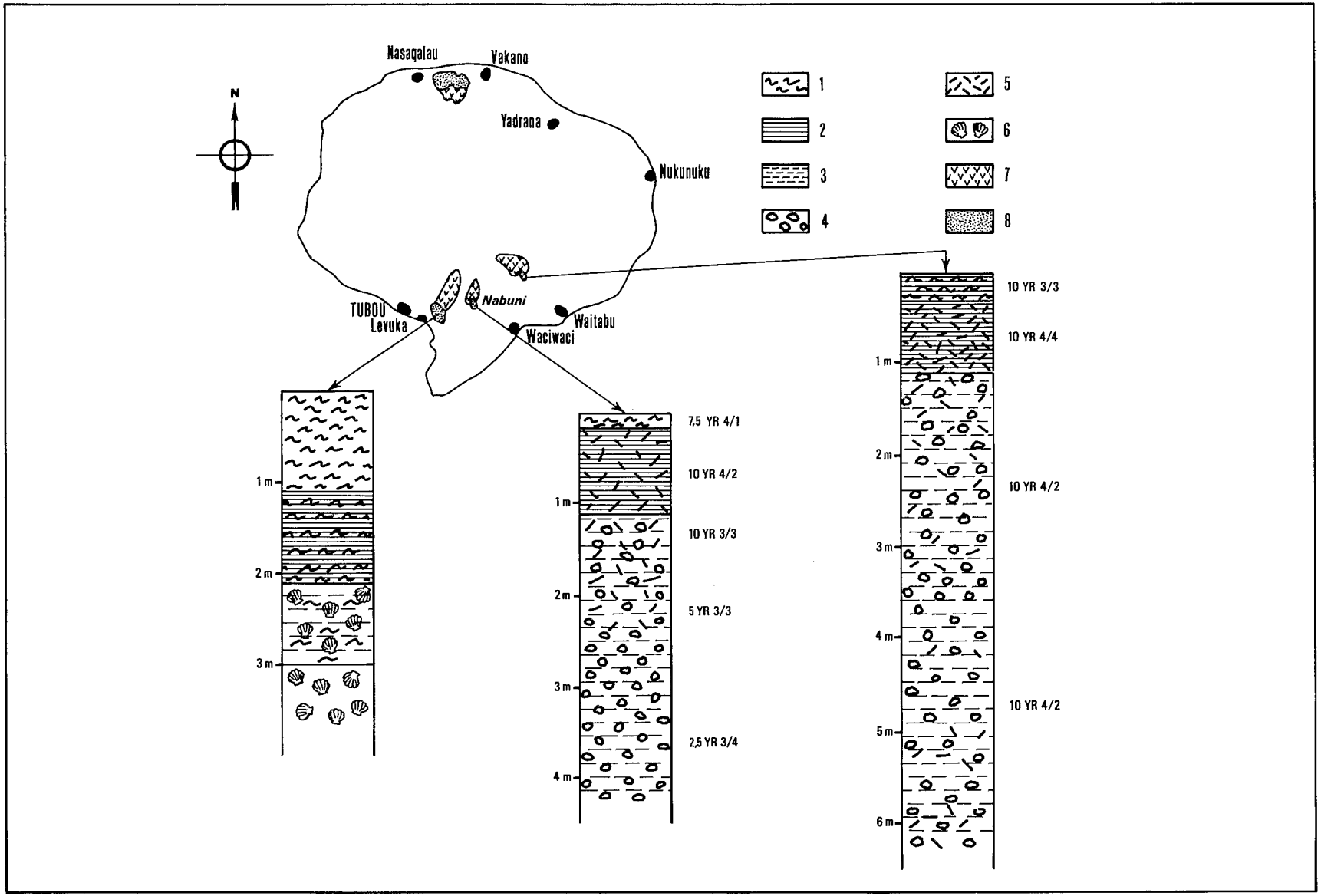


Figure 20 : Lakéba, situation et description sommaire
Lakeba, location and broad description

1 Matière organique/*organic matter;* 2 Argile/*clay;* 3 Argile sableuse/*sandy clay;* 4 Graviers/*gravels;* 5 charbon de bois/*charcoal ;* 6 Coquilles et débris de coraux/*shells and coral debris ;* 7 Limite des bassins versants/*limit of the catchments;* 8 zones marécageuses/*swamps.*

1.2 - Laboratoire

Les carottes de sondage ont été ouvertes et examinées au laboratoire de sédimentologie du département de Biogéographie et de Géomorphologie de la R.S. Pac. S. de « l'Australian National University ». Elles ont alors été décrites en détail et échantillonnées pour les analyses suivantes :

Datation au C14

Huit datations ont été envoyées en deux expéditions au laboratoire GEOCHRON aux U.S.A. pour datation au C_{14}. Parallèlement deux échantillons ont été expédiés au laboratoire de Géologie Dynamique de l'Université Pierre et Marie Curie à Paris sous la direction de J.C. FONTES et un échantillon a été proposé pour datation en Australie par R.F. Mac LEAN.

Analyses chimiques

Les analyses chimiques totales et la détermination du pH ont été réalisées au laboratoire du Centre ORSTOM de Nouméa. La détermination du carbone organique des échantillons de Waitabu et de Nabuni a été effectuée grâce à un analyseur à combustion Leco, à l'Australian National University.

Granulométrie

Les analyses granulométriques ont été réalisées à l'Australian National University. Les argiles et limons ont été déterminés par densimétrie et les sables par tamisage.

Minéralogie

Deux échantillons du sondage de Waitabu ont été imprégnés dans la résine et leur minéralogie a été décrite en détail par A. WATCHMAN de l'Australian National University. Des examens au microscope des sables et limons ont complété cette analyse.

Particules carbonisées

La concentration en particules carbonisées de 31 échantillons du sondage de Waitabu et de 8 échantillons de celui de Nabuni a été déterminée au laboratoire de Géomorphologie de l'Australian National University après destruction de la fraction minérale par l'acide fluorhydrique, flottaison dans une liqueur de bromite de zinc, et mise en suspension dans une huile au silicone. Le détail de cette méthode est donné dans HUGHES et al (1979).

2 - COMPOSITION ET STRATIGRAPHIE DES ZONES MARÉCAGEUSES

2.1 - Waitabu

Une description complète de la stratigraphie de cette zone marécageuse jusqu'à six mètres cinquante de profondeur est présentée dans HUGHES et al (1979). On peut retenir une morphologie des sédiments assez homogène tout le long du sondage, à l'exception des vingt premiers centimètres cultivés. De couleur brun foncé (10 YR 3/3) à brun gris très foncé (10 YR 4/2), ces sédiments présentent de petites taches brun rouge correspondant à des concrétions ferrugineuses friables et des passées gris bleuté. La texture est sablo-limono-argileuse dans tout le profil. Elle est toutefois plus fine dans le mètre supérieur que dans le reste du sondage. Des fragments de feldspaths altérés donnent à cette texture son toucher sableux. La quantité de feldspath augmente légèrement avec la profondeur.

1.2 - Laboratory

The core samples were opened and examined at the Laboratory of Sedimentology in the Biogeography and Geomorphology Department of the Research School of Pacific Studies of the Australian National University. They were described in detail and samples set aside for the following analyses :

Carbon 14 dating

Eight samples were dispatched in two separate parcels for carbon 14 dating at the GEOCHRON Laboratory in the USA. At the same time, two further samples were sent for dating to the Laboratory of Dynamic Geology under the direction of J.C. FONTES at the Pierre et Marie CURIE University in Paris, and one to R.F. Mc LEAN in Australia.

Chemical analysis

Total chemical analysis and pH measurements were carried out at the Laboratory of the ORSTOM Centre in Noumea. Organic carbon levels of the samples from Waitabu and Nabuni were determined by means of a Leco combustion analyser at the Australian National University.

Granulometry

The granulometric analysis was undertaken at the Australian National University with determination of the clays and loams by densimeter and of the sands by sifting.

Mineralogy

Two samples from the Waitabu core were impregnated in resin and their mineral composition described in detail by A. WATCHMAN of the Australian National University. This work was supplemented by examination of the sands and loams under the microscope.

Carbonized particles

The concentrations of carbonized particles in 31 samples from Waitabu and in 8 samples from Nabuni were determined at the Laboratory of Geomorphology of the Australian National University by destruction of the mineral fraction with hydrofluoric acid, immersion in a zinc bromyrite solution and suspension in a silicone oil. The method is set out in detail in HUGUES et al. (1979).

2 - COMPOSITION AND STATIGRAPHY OF THE SWAMPS

2.1 - Waitabu

A full description of the stratigraphy of this swamp down to 6.50 mètres may be found in Hughes et al. (1979). The morphology of the sediments was fairly homogeneous all the way down the core, except for the top 20 centimetres of cultivated soil. Dark brown (10 YR 3/3) to very dark grey-brown (10 YR 4/2) in colour, the sediments contained small brownish-red mottles, indicative of friable ferruginous concretions, and bluish-grey pockets. The texture was sandy-loamy-clayey throughout the profile but finer in the top metre than in the rest of the core. The sandy feel was due to fragments of weathered feldspar, which become slightly more abundant with depth.

Chemical analysis of the sediments by nitroperchloric attack revealed a relatively homogeneous composition with silica and aluminium predominating (Table 24): Iron content was low in

L'analyse chimique de ces sédiments par attaque nitroperchlorique indique une composition relativement homogène dans laquelle la silice et l'aluminium prédominent (tableau 24). Les teneurs en fer sont faibles par rapport à celles des sols environnants indiquant probablement une élimination partielle du fer à l'état réduit. On note une assez forte concentration en phosphore dans l'ensemble du dépôt. Enfin ces sédiments sont assez riches en carbone organique, en débris végétaux et en charbon de bois.

relation to surrounding soils, probably a sign that part of the iron in its reduced state has been eliminated. The deposit as a whole contained quite a lot of phosphorus and the sediments were also quite rich en organic carbon, plant debris and charcoal.

A count of the carbonized particles revealed very high concentrations throughout the core. Monolete fern spores, sometimes with trilete spores and the pollen of Gramineae were found throughout the deposit but levels were too low to assert

Tableau 24. — Caractéristiques chimiques des sédiments des marécages

Table 24. — Chemical characteristics of the sediments of the swamps

Localisation/*Location*	*Waitabu*				*Nabuni*				*Levuka*			
Numéro de l'échantillon/ *Sample N°*	21	23	28	32	61	64	66	69	11	12	13	15
Profondeur en cm/*Depth in cm*	25-30	135-130	350-360	550-570	40-45	160-165	280-285	440-445	0-15	50-60	90-100	200-210
Matière organique %/ *Organic matter %*	1,2	1,1	1,1	0,9	2,5	0,8	0,1	0,01	23,4	23,9	8,1	4,1
pH	3,9	5,3	4,4	4,2	4,5	5,1	5,4	5,5	4,5	2,6	3,1	7,5
Eléments totaux/*Total analysis* (attaque H NO_3 + H ClO_3/attack by)												
Perte au feu %/*Loss of ignition*	13,2	13,6	13,7	13,4	15,7	13,4	12,6	11,9	44,9	38,3	25,0	16,8
Residu %/Residue	5,3	3,2	4,6	4,3	1,7	1,2	0,64	1,09	0,6	0,6	1,2	1,4
SiO_2 %	40,9	39,3	40,5	41,1	44,5	42,1	44,4	41,1	30,5	28,7	32,7	28,8
Al_2O_3 %	27,2	29,1	28,7	28,9	31,7	27,9	27,4	26,4	15,8	19,4	22,0	21,3
Fe_2O_3 %	10,7	12,2	10,7	10,7	5,1	13,6	12,4	17,2	4,4	5,7	7,9	13,9
TiO_2 %	1,34	1,25	1,34	1,37	1,50	1,39	0,99	1,49	—	—	—	—
MnO_2 %	0,07	0,12	0,09	0,12	0,04	0,06	0,52	0,29	0,05	0,04	0,0	0,44
Ca O %	0,09	0,10	0,10	0,08	0,08	0,05	0,08	0,07	0,57	0,71	0,5	8,1
Mg O %	0,45	0,42	0,52	0,51	0,49	1,21	1,81	1,31	0,38	0,54	0,7	1,2
K2 O %	0,02	0,02	0,03	0,04	0,02	0,07	0,09	0,07	0,02	0,02	0,05	0,05
Na_2O %	0,04	0,03	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,07	0,26	0,2	0,23
P_2O_5 %	0,19	0,26	0,19	0,15	0,04	0,03	0,02	0,02	0,13	0,04	0,3	0,10

Un comptage des particules carbonisées montre des concentrations très élevées dans l'ensemble du sondage. Des spores monolètes de fougères accompagnées parfois de spores trilètes et de pollens de graminées ont été observées à travers tout ce dépôt. Leur fréquence est toutefois trop faible pour pouvoir affirmer que les fougères ont joué un rôle majeur dans l'accumulation de ces sédiments.

Ainsi l'examen de ce sondage qui est marqué par une légère différence texturale entre le mètre supérieur et le reste du profil, montre une grande homogénéité par ailleurs.

2.2 - Nabuni

L'examen du sondage du marais de Nabuni, décrit en détail dans HUGHES et al (1979), fait ressortir une différence morphologique nette entre trois niveaux principaux :

— un niveau supérieur, qui s'étend dans les 125 premiers centimètres. Ce niveau, de couleur gris brun (10 YR 4/2) à gris foncé

that ferns played a major role in the accumulation of these sediments.

In short, examination of this core brought out a slight difference in texture between the uppermost metre and the rest of the profile but otherwise a high degree of homogeneity.

2.2 - Nabuni

Examination of the core from the Nabuni swamp, described in detail in HUGHES et al. (1979), brought out sharp morphological differences between the three main horizons :

— an upper layer, some 125 centimetres deep, greyish-brown (10 YR 4/2) to dark grey (10 YR 3/1) in colour and sandy-loamy-clayey and fine in texture. It contained many weathered feldspar sands. Carbon content fell from 4 % at the surface to 1.5 % at 125 cm. This horizon was very rich in carbonized particles and fern spores ;

— a more reddish layer (10 YR 4/6 to 5 YR 3/4) from 125 to

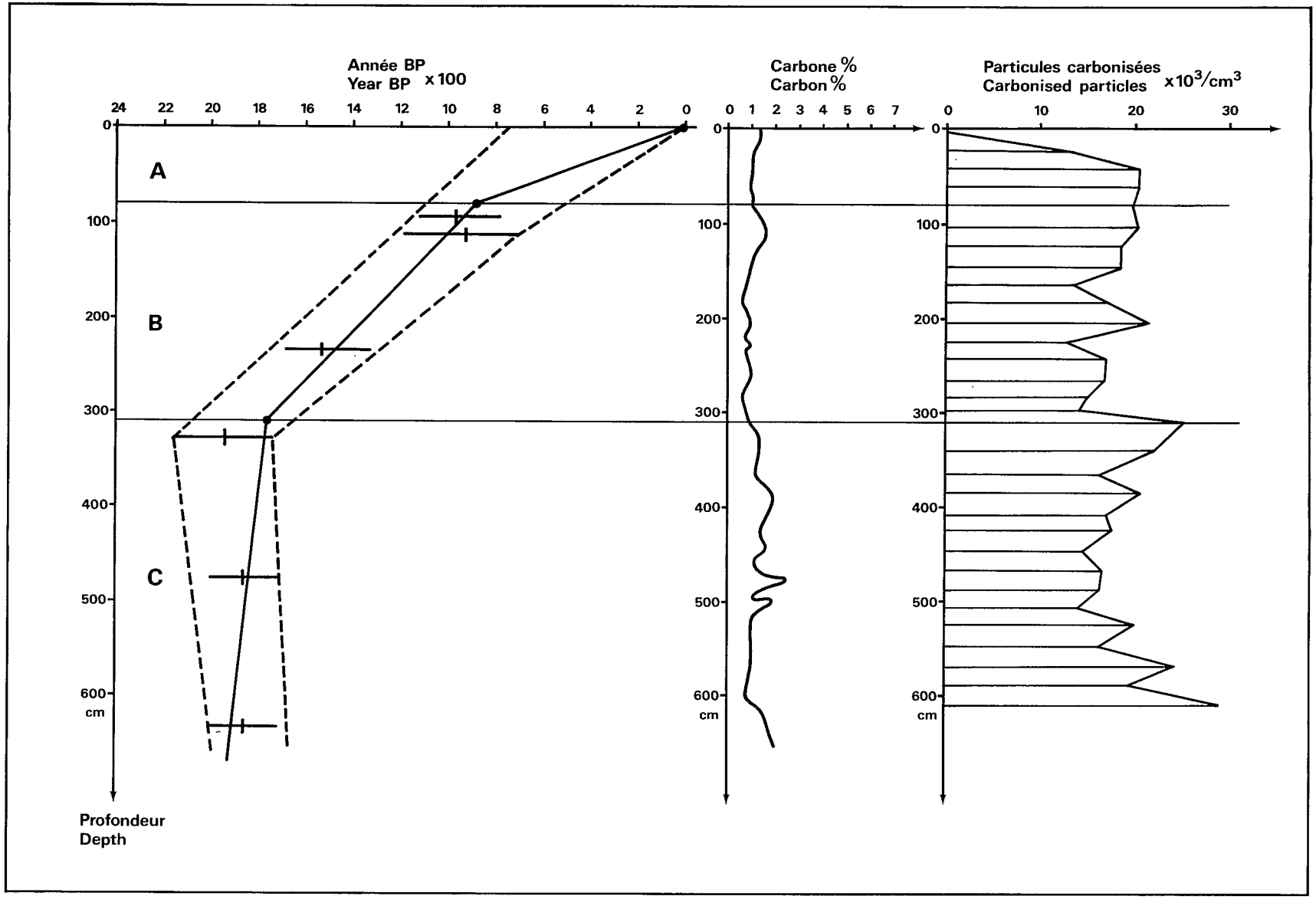


Figure 21 : Waitabu, histoire de la sédimentation
Waitabu, history of the sedimentation

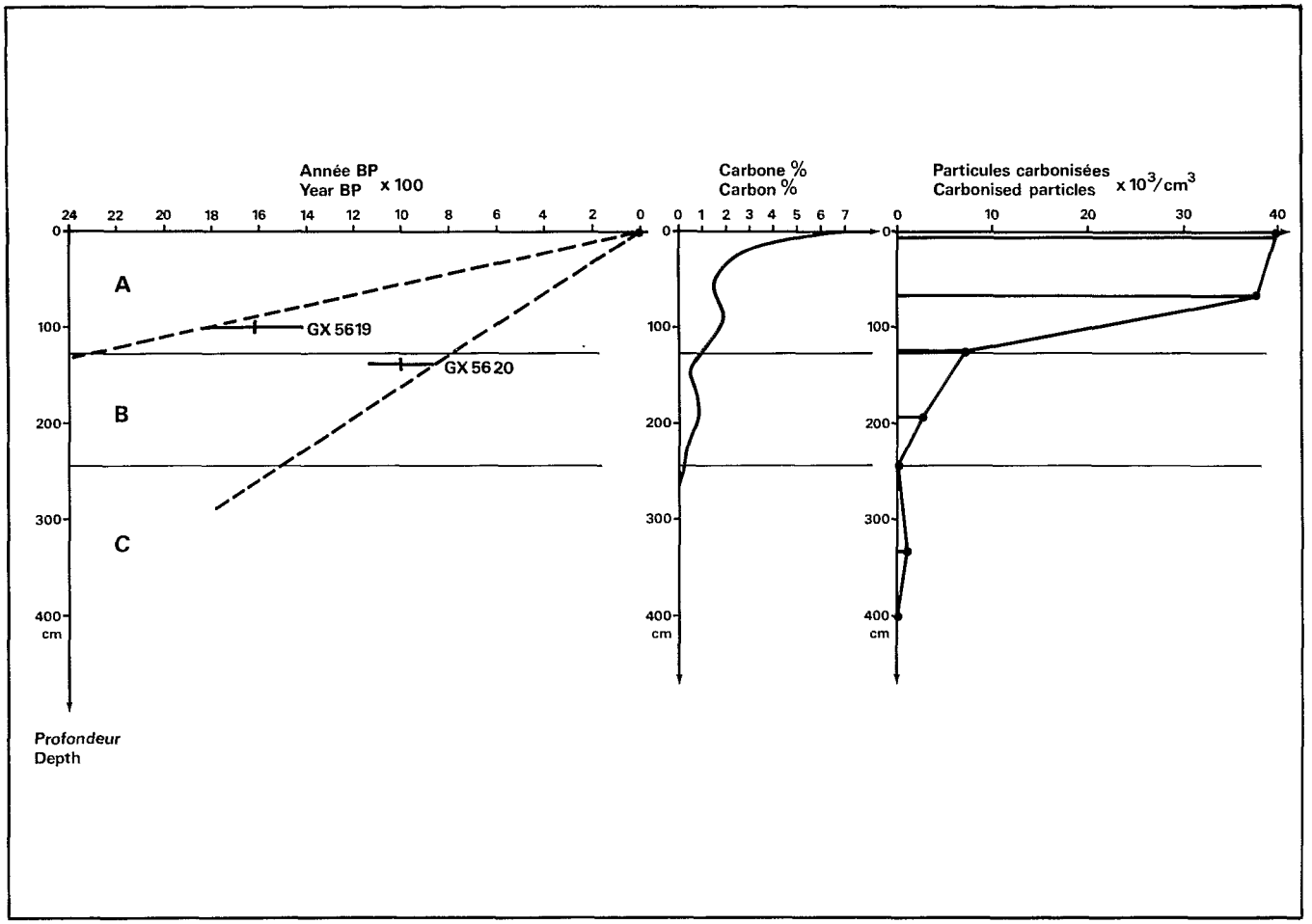


Figure 22 : Nabuni, histoire de la sédimentation
Nabuni, history of the sedimentation

(10 YR 3/1) a une texture sablo-limono-argileuse fine. Il contient de nombreux sables feldspathiques altérés. La teneur en carbone décroit de 4 % en surface à 1,5 % à 125 cm. Ce niveau est très riche en particules carbonisées et en spores de fougère ;

— un niveau moyen de couleur plus rouge (10 YR (/6 à 5 YR 3/4) compris entre 125 et 240 cm. Cet horizon est riche en feldspaths altérés. Il est plus pauvre en matière organique et en particules carbonisées que le précédent. Ces deux éléments décroissent très nettement avec la profondeur. On n'observe pas de spores de fougère ;

— un niveau inférieur, compris entre 240 cm et 450 cm. Le sondage a été arrêté à 450 cm vu la compacité du matériel. Ce niveau est encore plus rouge que les précédents (5 YR 3/4 à 2,5 YR 3/4). Il est pauvre à très pauvre en matière organique et ne contient que de faibles quantités de particules carbonisées. Il est dépourvu de spores de fougère et de pollens.

La composition chimique de ces sédiments est, comme pour le marais de Waitabu, assez homogène, avec une prédominance de la silice et de l'alumine dans tout le profil. Les teneurs en fer dans les horizons profonds sont toutefois plus élevées que dans ce dernier site et la richesse en phosphore est bien plus faible. Les teneurs en magnésium sont par ailleurs très élevées.

Ce marais apparaît ainsi formé de trois niveaux superposés : un niveau inférieur, rouge, pauvre en matière organique et en

240 cm down. This horizon was rich in weathered feldspar but poorer than the upper one in organic matter and carbonized particles, and these two elements decreased sharply with depth. There were no fern spores ;

— a lower layer from 240 cm to 450 cm down. Boring stopped at 450 cm because the material became too compact. This horizon was even redder than the previous ones (5 YR 3/4 to 2.5 YR 3/4), poor to very poor in organic matter and with only small quantities of carbonized particles. There were no fern spores or pollens.

The chemical composition of these sediments was, like the Waitabu swamp, fairly homogeneous, with silica and alumina predominating throughout the profile. However, iron content in the deep horizons was higher than at Waitabu and the amount of phosphorus much lower. Magnesium levels were very high.

This swamp thus appears to be formed of three superposed layers : a red lower layer, poor in organic matter and carbonized particles, a brownish-red middle layer, richer in these two elements, and a grey upper layer very rich in organic matter and carbonized particles. Only the top horizon contained fern spores.

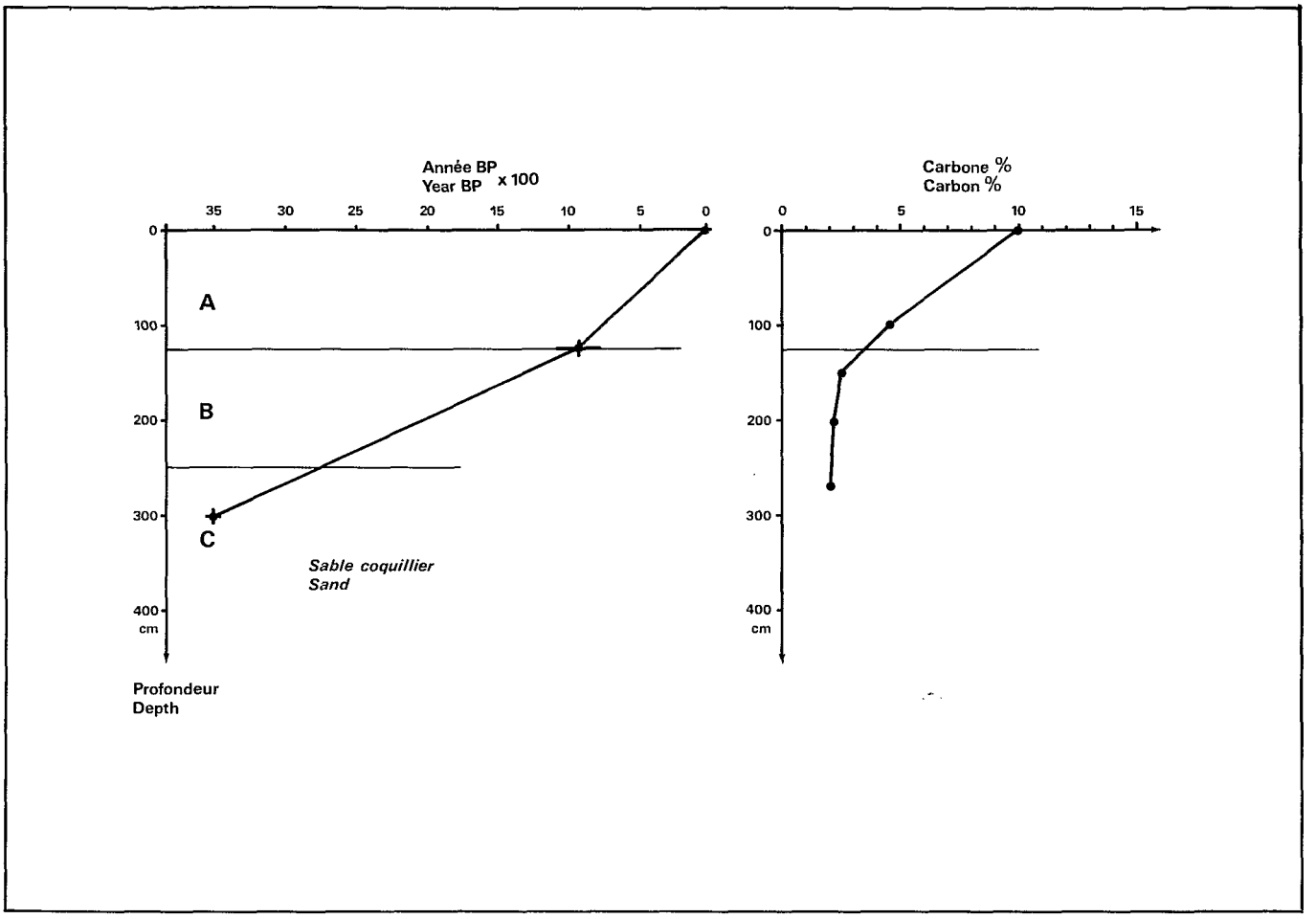


Figure 23 : Levuka, histoire de la sédimentation
Levuka, history of the sedimentation

particules carbonisées ; un niveau moyen brun rouge, plus riche en ces deux éléments et un niveau supérieur gris et très riche en ces deux éléments. Seul l'horizon supérieur contient des spores de fougère.

2.3 - Levuka

Sur ce marais, seules une observation morphologique du sondage et des analyses physico-chimiques ont pu être réalisées. On note la succession de niveaux suivante :
— un niveau organo-minéral, d'environ 1 m de profondeur, dans sa partie supérieure. Ce niveau de couleur brun très foncé contient environ 25 % en poids de matière organique. Il est très riche en débris de végétaux mal décomposés (feuilles, racines et branches). Il a une texture argileuse très fine ;
- un niveau minéral dans sa partie médiane, entre 1 m et 2,10 M. Ce niveau de couleur grise comprend des passées limoneuses et sableuses plus rouges. Il contient toutefois une certaine quantité de matière organique (plus de 5 %) et des résidus végétaux mal décomposés ;
— un niveau de sables coquilliers contenant des débris de coraux en dessous de 2,10 m. Dans sa partie supérieure, ce sable est mélangé à des éléments terrigènes, de la matière organique et encore des résidus végétaux, principalement des feuilles de cyperacées.

2.3 - Levuka

For this swamp, only a morphological observation of the core and physico-chemical analyses could be carried out. The following succession of horizons was noted :
— an organic mineral upper layer of about 1 m deep. This horizon, very dark brown in colour, contained about 25 % by weight of organic matter. It was very rich in badly decomposed plant residues (leaves, roots and branches) and had a very fine clayey texture ;
— a mineral middle layer from 1 m to 2.10 m, grey in colour with redder loamy and sandy pockets. It contained a certain amount of organic matter (over 5 %) and badly decomposed plant residues ;
— below 2.10 m, a layer of shell sands containing coral debris. The upper part of this sand was mixed with terrigenous elements, organic matter and more plant residues, chiefly the leaves of Cyperaceae.

The palynological analysis of this swamp and the similar swamp at Nasaqalau, performed by J. FLENLEY, revealed the presence of fern spores and pollen in all the sediments.

Chemical analysis showed, apart from large amounts of organic matter, that the composition of the terrigenous part was similar to that of the two previous cores down to the sand horizon.

L'analyse palynologique menée par J. FLENLEY sur ce marais et sur le marais similaire de Nasaqalau indique la présence de spores de fougère et de pollen dans l'ensemble des sédiments.

L'analyse chimique de ce sondage montre en dehors des fortes teneurs en matière organique, une composition de la partie terrigène voisine de celle des deux précédents jusqu'à l'horizon coquillier.

Ainsi les sédiments de ce marécage reposent sur une plage de sable coquillier. Ces sédiments très organiques sont très riches en débris végétaux mal décomposés dans l'ensemble du profil, ce qui les distingue nettement des dépôts observés dans les deux marais précédents.

Thus the sediments of this swamp were deposited upon a beach of shell sand. With their high proportion of organic matter and wealth of badly decomposed plant debris throughout the profile, they differ sharply from the deposits found in the two previous swamps.

3 - HISTOIRE DE LA SÉDIMENTATION

3.1 - Waitabu

Six datations au C_{14} ont été obtenues pour Waitabu (Tableau 25). Ces datations montrent une bonne relation entre l'âge des dépôts et leur profondeur. Une courbe représentant l'âge des dépôts en fonction de la profondeur a pu être tracée à l'intérieur des courbes enveloppes représentant les erreurs relatives de datation. A partir de cette courbe on peut supposer que les six mètres cinquante supérieurs de ce marais se sont déposés au cours des 1900 dernières années.

La texture fine de ces sédiments indique des conditions de dépôt tranquilles. La présence de spores de fougère, probablement de type hydromorphe, dans l'ensemble du sondage suggère un dépôt en milieu terrestre ayant permis la croissance de plantes plutôt qu'un dépôt en milieu lacustre.

Trois phases peuvent être retenues dans la sédimentation de ce marais :

— Les 340 cm inférieurs du sondage (niveau C) auraient été déposés très rapidement, probablement entre 1900 et 1750 B P. La vitesse de sédimentation aurait alors été de 230 cm / 100 ans. La présence de spores de fougère, probablement de type hydromorphe dans l'ensemble de ce niveau suggère que cette sédimentation n'a jamais été suffisamment rapide pour interdire la croissance des plantes. La couleur grise de ces sédiments est liée à l'état réduit des sesquioxydes de fer. Il faut rappeler que la réduction des oxydes de fer serait dû principalement à l'action de microorganismes en milieu réducteur. Ces microorganismes se développeraient d'autant mieux que le matériau est riche en matière organique (SEGALEN 1964). Or cette richesse en matière organique se retrouve encore dans les sédiments observés actuellement. Cet état réduit des sesquioxydes de fer et cette richesse en matière organique signifient de plus que ces horizons n'ont jamais été soumis à une dessication prolongée depuis leur dépôt.

— Entre 1750 BP et 900 BP, une épaisseur de 230 m de sédiments a été déposée. Un ralentissement notable du taux de sédimentation aurait donc eu lieu, il y a environ 1750 ans (27 cm / 100 ans). La présence de spores de fougère dans ce niveau indique toujours des conditions de dépôt en milieu terrestre hydromorphe.

— Enfin au cours des 900 dernières années un mètre de sédiment se serait accumulé toujours dans des conditions hydromorphes mais à un rythme de 9 cm / 100 ans. La texture plus argileuse de ce niveau suggère des conditions de dépôt dans un milieu encore plus tranquille que précédemment. Elle est peut-être à mettre en relation avec l'extension du réseau d'irrigation pour les cultures de taro.

3 - HISTORY OF THE SEDIMENTATION

3.1 - Waitabu

Six carbon 14 datings were obtained for Waitabu (Table 25). The findings show a good correlation between the age and depth of the deposits : it proved possible to produce a curve representing the age of the deposits in relation to their depth within other curves indicating relative errors in dating. On the basis of this curve, it may be assumed that the upper six metres of this swamp were deposited during the last 1 900 years.

The fine texture of these sediments points to deposition under calm conditions, and the presence of fern spores, probably of a hydromorphic variety, throughout the core suggests that deposition took place in a terrestrial environment conducive to plant growth rather than in a lacustral one.

There appears to have been three stages in the sedimentation of this swamp :

— The bottom 340 cm of the core (C horizon) are thought to have been deposited very rapidly, probably between 1 900 and 1 750 BP. This gives a sedimentation rate of 230 cm/100 years. The presence of fern spores, probably of a hydromorphic variety, throughout this horizon suggests that sedimentation was never too rapid to prevent plant growth. The grey colour of the sediments is connected with the reduced state of the iron sesquioxides ; it should be recalled that the reduction of iron oxides would be mainly due to the activity of micro-organisms in a reducing environment. These micro-organisms would develop particularly well in material rich in organic matter (SEGALEN 1964), and the sediments in question still fulfil this condition. The reduced state of the iron sesquioxides and the richness in organic matter imply that these horizons have never been dried out for long periods since their deposition.

— Between 1 750 and 900 BP, 230 cm of sediments were deposited. The rate of sedimentation therefore slowed down considerably about 1 750 years ago (27 cm/100 years). The presence of fern spores in this horizon suggests that the hydromorphic terrestrial conditions of deposition continued.

— Lastly, in the course of the last 900 years one metre of sediments is thought to have accumulated, as before under hydromorphic conditions, but as a rate of only 9 cm/100 years. The more clayey texture of this horizon suggests that deposition took place in an even calmer environment than before, perhaps connected with extensions to the irrigation system for the cultivation of taro.

3.' - Nabuni

Only two of the three samples taken from this swamp could

Tableau 25. — Datation au C_{14} sur les sondages des marais de Waitabu, Nabuni et Levuka

Profondeur cm	Age (C_{14} années BP) et erreur	N° de laboratoire	Demandeur	Observations
Waitabu				
82-100	945 ± 170	GX 5616	P.J. HUGHES	Corrigé au C_{13} : âge non corrigé 920 BP.
110	920 ± 240	—	M. LATHAM	Bois prélevé sur une fosse. Creusé à l'endroit précis du sondage.
225-240	1505 ± 165	GX 5617	P.J. HUGHES	Corrigé au C_{13} ; âge non corrigé 1455 BP.
315-335	1910 ± 210	GX 4851	M. BROOKFIELD	Non corrigé au C_{13}.
460-490	1820 ± 150	GX 5618	P.J. HUGHES	Corrigé au C_{13} ; âge non corrigé 1820 BP.
618-638	1805 ± 140	GX 4852	M. BROOKFIELD	Non corrigé au C_{13}.
Nabuni				
90-105	1645 ± 105	GX 5619	J.P. HUGHES	Corrigé au C_{13} ; âge non corrigé 1610 BP.
125-150	1005 ± 145	GX 5620	J.P. HUGHES	Corrigé au C_{13} ; âge non corrigé 965 BP.
210-240	non datable	GX 5621	J.P. HUGHES	Echantillon trop peu organique
Levuka				
120	940 ± 140	—	M. LATHAM	Bois prélevé sur une fosse à proximité du sondage.
250	3155 ± 140	GX 4474	R.F, Mac LEAN	Corail en position de croissance. Non corrigé au C_{13}.

Tableau 25. — C14 datings of core samples from the Waitabu, Nabuni and Levuka swamps

Depth	*Age (C_{14} years BP) and margin of error*	*Laboratory No*	*Requested by*	*Remarks*
Waitabu				
82-100	945 ± 170	GX 5616	*P.J. HUGUES*	*Corrected with C_{13} ; Non-corrected age 920 BP*
110	920 ± 240	—	*M. LATHAM*	*Piece of wood taken from ditch dug at exact spot of bore*
225-240	1505 ± 165	GX 5617	*P.J. HUGHES*	*Corrected with C_{13}; Non-corrected age 1455 BP*
315-335	1910 ± 210	GX 4851	M. BROOKFIELD	*Not corrected with C_{13}*
460-490	1820 ± 150	GX 5618	*P.J. HUGHES*	*Corrected with C_{13} ; Non-corrected age 1820 BP*
618-638	1805 ± 140	GX 4852	*M. BROOKFIELD*	*Not corrected with C_{13}*
Nabuni				
90-105	1645 ± 105	GX 5619	*J.P. HUGHES*	*Corrected with C_{13} ; Non-corrected age 1610 BP*
125-150	1005 ± 145	GX 5620	*J.P. HUGHES*	*Corrected with C_{13} ; Non-corrected age 965 BP*
210-240	*non datable*	GX 5621	*J.P. HUGHES*	*Sample not sufficiently organic*
Levuka				
120	940 ± 140	—	*M. LATHAM*	*Piece of wood taken from ditch near the bore*
250	3155 ± 140	GX 4474	*R.F. Mc LEAN*	*Coral in growth position ; not corrected with C_{13}*

3.2 - Nabuni

Seuls deux échantillons sur les trois proposés ont pu être datés dans ce marais. Ils donnent une relation inverse entre l'âge et la profondeur du dépôt (Tableau 25). Cette différence d'âge est assez grande (600 ans environ) vu la proximité du prélèvement des échantillons dans le sondage et peut résulter soit d'une analyse sur une racine, soit d'un retournement du sol pour des cultures. A partir de ces datations on ne peut donc que supposer un âge pour les 125 premiers centimètres de ce marais, âge qui serait compris entre 800 et 2400 ans (fig. 22). De la même façon, l'âge du niveau à 240 cm serait compris entre 1500 et 4500 ans.

Trois phases principales peuvent encore être distinguées dans la sédimentation de ce marais.

— Un niveau inférieur entre 450 cm et 240 cm, de texture sableuse et devenant de plus en plus compact en profondeur (niveau C). Ce niveau de couleur brun rouge est comparable aux colluvio-alluvions environnantes. La couleur brun rouge semble indiquer que ce dépôt s'est fait dans des conditions bien drainées et sèches. L'engorgement postérieur à cet apport n'aurait pas trouvé dans ce matériau la quantité de matière organique suffisante pour le développement des microorganismes nécessaires à la réduction du fer.

Aucune spore de fougère et aucun pollen n'ont été observés, ce qui confirme ces conditions de sécheresse.

— Les sédiments de la partie centrale de ce sondage (240-120 cm) changent graduellement de couleur. Ils passent d'un brun rouge dans sa partie inférieure à un brun gris dans sa partie supérieure. Ce changement de couleur suggère que le dépôt s'est fait dans des conditions devenant de plus en plus hydromorphes. On ne note cependant toujours pas de spores de fougère dans ces sédiments. Il est probable que même si des fougères ont existé au moment du dépôt, les spores se sont dégradées par la suite par oxydation, du fait de longues sécheresses.

— Enfin la texture argileuse, la couleur grise, la présence de spores de fougère et la forte concentration en matière organique des 125 cm de la partie supérieure du dépôt indiquent une accumulation dans des conditions tranquilles en milieu terrestre et hydromorphe. Ce niveau s'est accumulé au cours des derniers 800 à 2400 ans à un rythme de 16 à 5 cm / 100 ans.

3.3 - Levuka

Deux datations seulement ont été réalisées dans le marais de Levuka, l'une à 1,20 m de profondeur sur un échantillon de bois en partie décomposé dont l'âge serait de 900 ± 140 années B P et l'autre dans les sables coquilliers à 2,20 m de profondeur par R.F. Mac Lean et dont l'âge serait de 3155 ± 149 B P. Cette dernière date n'indique pas toutefois l'âge de la formation du marécage mais l'âge de la plage sur laquelle le marécage s'est développé. Le marécage est donc plus jeune.

La composition très organique des sédiments de ce marais suggère une sédimentation terrigène lente en milieu palustre. Pour le calcul des taux de sédimentation, une correction a été nécessaire pour tenir compte de la différence de densité apparente très importante existant entre ce matériau et un dépôt terrigène normal, et de la quantité de matière organique contenue. Ainsi dans les 120 premiers centimètres (niveau A) pour une densité apparente de 0,5 CONTRE 1,5 normalement et une teneur en matière organique de 25 % en moyenne le taux de sédimentation sera :

$$\frac{120 \times 0{,}5 \times 75 \times 100}{1{,}5 \times 100 \times 940} = 3{,}2 \text{ cm / 100 ans}$$

Dans l'horizon inférieur (niveau B) beaucoup moins organique le taux de sédimentation serait au minimum de 5,5 cm /

be dated. The results (Table 25) showed an inverse relation between age and depth. The difference in age (about 600 years) is quite big considering the proximity of the samples and could have resulted from either the analysis of a root or the turning over of the soil for cultivation. On the basis of these datings, then one can only suppose that the top 125 centimetres of this swamp are between 800 and 2 400 years old (Fig. 22). Similarly, the age of the horizon at 240 cm would be somewhere between 1 500 and 4 500 years.

Once again, three main phases of sedimentation may be distinguished :

— A lower horizon (C horizon) between 450 and 240 cm, sandy in texture and becoming increasingly compact with depth. This layer, brownish-red in colour, is similar to the surrounding colluvio-alluvial deposits. The brownish-red colour appears to indicate that the soil was well-drained and dry when deposition took place.

When water-logging occurred subsequently there would not be enough organic matter for the micro-organisms needed for iron reduction to develop.

No fern spores and no pollen were found, a further indication of dry conditions.

— The sediments in middle of the core (240-120 cm) gradually change in colour, from a brownish-red in the lower part to a brownish-grey higher up. This colour-change suggests deposition under increasingly hydromorphic conditions, but there are still no fern spores. It is probable that, even if ferns existed at the time of deposition, their spores were subsequently degraded by oxidation as a result of long periods of drought.

Lastly, the clayey texture, grey colour, presence of fern spores and high proportion of organic matter in the upper 125 cm of the deposit indicate accumulation under calm conditions in a terrestrial hydromorphic environment. This horizon was deposited over the last 800 to 2 400 years at a rate of 16 to 5 cm/100 years.

3.3 - Levuka

Only two datings were made in the Levuka swamp, one at a depth of 1.20 m on a partly decomposed piece of wood (age 900 ± 140 years BP) and the other in the shell sand at a depth of 2.20 M BY R.F. Mc Lean (age 3 155 ± 140 BP). The latter date, however, does not give the age of the swamp itself but that of the underlying beach : the swamp is therefore younger.

The highly organic composition of the sediments in this swamp points to a slow terrigenous sedimentation in marshy surroundings. In calculating the sedimentation rates, a correction had to be made to allow for the very considerable difference in bulk density between this material and a normal terrigenous deposit and for the amount of organic matter it contained. Thus, for the top 120 cm (A horizon), with a bulk density of 0.5 as against the normal 1.5 and an average organic matter content of 25 %, the sedimentation rate would be

$$\frac{120 \times 0.5 \times 75 \times 100}{1{,}5 \times 100 \times 940} = 3{,}2 \text{ cm/100 years}$$

In the much less organic B horizon, the sedimentation rate would be at least 5.5 cm/100 years, since the age obtained (3 155 years) pre-dates the time at which the swamp began to form. This swamp, therefore, has gone through two phases of sedimentation since its formation on the holocene beach : terrigenous sedimentation at an average pace until about 950 years ago, followed by very slow sedimentation.

The presence of plant debris — especially Cyperaceae leaves —, fern spores and pollens throughout the core suggests that the swamp has never been affected by a long drought

100 ans, l'âge de 3155 ans étant plus ancien que celui du début de la formation du marécage. Ainsi dans ce marécage deux phases de sédimentation seraient apparues depuis sa formation sur la plage Holocène : une sédimentation terrigène de vitesse moyenne jusqu'à il y a environ 950 ans suivie depuis par une sédimentation très lente.

La présence de débris végétaux et en particulier de feuilles de cypéracées, de spores de fougère et de pollens dans l'ensemble du sondage suggèrent qu'il n'y a jamais véritablement eu de période de sécheresse au cours de sa formation. Il faut cependant remarquer que de courtes dessications ont pu se produire, ce qui a notamment entraîné la dégradation des spores et des pollens.

4 - EROSION SUR LES BASSINS VERSANTS ET FEUX

Les quantités de terre enlevées sur les bassins versants et les taux d'érosion ont été calculés pour ces trois sites en tenant compte des surfaces comparées du marécage et de son bassin versant (Tableau 26). Pour ce calcul on a supposé que la relation profondeur/âge du sédiment, établie pour le sondage, reflétait l'histoire de la sédimentation du marais prise dans son ensemble. Ce calcul suppose en particulier que la surface du dépôt a toujours été la même. Or il est probable que cette surface s'est accrue au cours des temps vu la pente des versants. Dans ce cas, les taux d'érosion sont surestimés. Mais ce calcul ne tient pas compte des pertes de sédiment en aval du marécage, lors des grandes crues qui peuvent être considérables. Ces taux d'érosion sont donc approximatifs mais très probablement sous-estimés.

La concentration des particules carbonisées dans les sédiments reflète notamment la fréquence des feux dans le marais et sur le bassin versant (SINGH et al, 1979). C'est pourquoi, bien que les courbes de concentration de particules carbonisées doivent être interprétées avec précaution, elles permettent de détecter des changements majeurs dans le régime des feux quand elles sont corrélées avec des taux d'érosion et de sédimentation connus.

4.1 - Waitabu

Une épaisseur minimum de 26 cm de sol a été arrachée au bassin versant de Waitabu durant les 150 ans qui séparent 1900 de 1750 B P. Cet enlèvement correspond à un rythme moyen d'érosion de 173 cm/1000 ans ou de 2600 tonnes/km^2/an. Ceci implique l'enlèvement de la quasi totalité des horizons supérieurs pendant cette courte période. Cette érosion extrêmement rapide a été accompagnée par une très importante accumulation de particules carbonisées dans l'ensemble du dépôt. La présence de spores de fougère dans tout le niveau suggère que malgré cette érosion massive, et les feux qui l'ont accompagnée, une couverture végétale a été maintenue sur le site et aux alentours. La stratigraphie, les courbes représentant la profondeur des sédiments en fonction de leur âge et les accumulations de particules carbonisées permettent d'affirmer qu'un régime d'érosion massive et de feux répétés était déjà bien établi sur ce site il y a 1900 ans et a donc débuté antérieurement.

Par la suite entre 1750 BP et 900 BP le taux d'érosion moyen a baissé jusqu'à des valeurs de 20 cm/1000 ans ou de 300 TONNES + KM^2/an. Cette érosion très intense a enlevé en moyenne 17 cm supplémentaires aux sols du bassin versant.

during its formation ; however, it could well have dried out for short periods and this would, in particular, account for the degradation of the spores and pollens.

4 - EROSION OF THE CATCHMENTS AND FIRES

The amount of earth removed from the catchments and the erosion rates were calculated for the three sites, allowing for the relative areas of swamp and catchment (Table 26). For this purpose, it was assumed that the depth/age relation of the sediments established by sampling reflected the history of sedimentation in the swamp as a whole ; in particular, the calculation assumes that the area of deposition remained the same throughout, even though this area, in fact, probably increased in the course of time on account of the slopes. In this case erosion rates would be overestimated. But the calculation does not take account of sediment losses downstream during major floods, which can be considerable. In consequence, the erosion rates given are approximations and very probably underestimated.

The concentrations of carbonized particles in the sediments reflect in particular the frequency of fires in the swamp and its catchment (SINGH et al. 1979). The relevant curves should be interpreted with caution, but they do make it possible to detect major changes in the frequency of fires when these are correlated with the known rates of erosion and sedimentation.

4.1 - Waitabu

A minimum of 26 cm of the surface soil was stripped from the Waitabu catchment during the 150 years between 1900 and 1750 BP, corresponding to an average erosion of 173 cm/1000 years or 2600 tons/km2/year. In other words, virtually all the upper horizons were removed during this brief period. This extremely rapid erosion was accompanied by a very large accumulation of carbonized particles throughout the deposit. The presence of fern spores at all depths indicates that, in spite of the massive erosion and accompanying fires, the swamp and its surrounding area kept their vegetal cover. The stratigraphy, the curves indicating the depth of sediments in terms of age, and the accumulations of carbonized particles make it possible to state that massive erosion and repeated fires were already well-established on the site 1900 years ago and had therefore begun earlier.

After this, between 1750 and 900 BP, the mean erosion rate dropped to 20 cm/1000 years or 300 tons/km2/year. This intense erosion removed a further 17 cm on average from the catchment soils. As there is no significant change in the concentrations of carbonized particles, it may be assumed that the fires decreased in proportion, but since there are still a great many carbonized particles the fires were of regular occurrence.

Tableau 26. — Rythme d'érosion sur les bassins versants de Wautabu, de Nabuni et de Levuka

Bassin versant	Epaisseur des sédiments dans le marais (cm)	Intervalle de temps (années BP)	Rapport entre la surface du marais et la surface du bassin versant	Epaisseur de sol érodé dur le bassin versant (cm)	Taux d'érosion (cm/1000 ans)	Index moyen d'érosion* Tonnes/km²/an
Waitabu						
Niveau A	82	0 - 900	0,075	6	7	105
Niveau B	228	900 - 1750	0,075	17	20	300
Niveau C	340	1750 - 1900	0,075	26	173	2595
			Total	49		
Nabuni						
Niveau A	125	0 - 800 ou 0 - 2400	0,069	9	4 - 10	60 - 150
Niveau B	115		0,069	8		
			Total	17		
Levuka						
Niveau A	120	0 - 940	0,253	7,6	8	120
Niveau B	100	940 - 3155	0,253	25,3	11,4	171
			Total	32,9		

□Index moyen d'érosion calculé suivant la formule : $I = \frac{s}{S} \times h \times 1000 \times \frac{10\,d}{t}$

dans laquelle I = Index d'érosion en tonnes/km²/an
s = Surface de la zone marécageuse
S = Surface du bassin versant
h = Epaisseur de sédiment accumulé
d = Densité apparente du sol, du bassin versant estimée à 1,5 pour ce calcul
t = Temps pendant lequel s'est effectué ce dépôt.

Table 26. — Erosion from the Waitabu, Nabuni and Levuka catchments

Catchment	*Depth of swamp sediments (cm)*	*Length of time (years BP)*	*Area of swamp in relation to area of catchment*	*Depth of soil eroded from catchment (cm)*	*Rate of erosion (cm/1000 years)*	*Mean index of erosion + (Tons/km2/year)*
Waitabu						
A Horizon	082	0- 900	0,075	6	7	105
B Horizon	228	900-1750	0,075	17	20	300
C Horizon	340	1750-1900	0,075	26	173	2595
				Total 49		
Nabuni						
A Horizon	125	0- 800 ou 0-2400	0,069	9	4-10	60-150
B Horizon	115		0,069	8		
				Total 17		
Levuka						
A Horizon	120	0- 940	0,253	7,6	8	120
B Horizon	100	940-3155	0,253	25,3	11,4	171
				Total 32,9		

+ : The mean index of erosion is calculated by means of the formula $I = \frac{s}{S} \times h \times 1000 \times \frac{10\,d}{t}$

where I = Index of erosion in tons/Km2/year
s = Area of swamp
S = Area of catchment
h = Depth of accumulated sediments
d = Bulk density of the soil of the catchment, here estimated at 1.5
t = Length of time during which material was deposited.

Comme le taux de particules carbonisées n'a pas changé de façon significative, on peut supposer que les feux ont décru proportionnellement. Ces taux de concentration de particules carbonisées restent toutefois très élevés et sont le signe de feux réguliers.

Enfin au cours des 900 dernières années, le taux d'érosion a encore diminué jusqu'à atteindre des valeurs de 7 cm/1000 ans ou 105 tonnes/km2/an. Six centimètres supplémentaires ont été enlevés à la surface du bassin versant. Le taux de particules carbonisées qui s'est maintenu dans un premier temps, au cours de cette phase, a par la suite nettement décru, indiquant une baisse massive des feux dans ce secteur.

4.2 - Nabuni

L'histoire de l'érosion et des feux dans ce bassin versant presqu'entièrement couvert d'une végétation à talasiga est plus hypothétique que celle de Waitabu du fait des incertitudes portant sur les datations.

La présence d'une faible concentration de particules carbonisées dans les deux mètres inférieurs du sondage (niveau C) suggèrent que l'érosion et l'accumulation de ce matériau colluvio-alluvial a été accompagné de quelques feux. Il est impossible d'affirmer que cette formation précède l'arrivée de l'homme sur l'île. Toutefois, comme ses caractéristiques et sa position topographique sont similaires à celles des larges dépôts colluvio-alluviaux décrits par ailleurs dans ce volume, on peut supposer que ce matériel a la même origine et le même âge (quaternaire moyen à supérieur) et qu'il ne s'est pas accumulé pendant la période très récente d'occupation de l'île par l'homme.

Au cours de la phase d'accumulation suivante (niveau B), le milieu dans lequel s'est fait, le dépôt est devenu de plus en plus hydromorphe. La concentration en particules carbonisées s'est accrue brutalement. Elle indique pour la première fois une évidence de feux intenses. Il est probable, en extrapolant les courbes enveloppes de datation et en raison de ce brusque accroissement des taux de particules carbonisées que l'accumulation de ce niveau a débuté avec l'arrivée de l'homme sur l'île.

Le taux d'érosion pendant la période finale du dépôt (niveau A) s'est situé entre 4 et 10 cm/1000 ans ou 60 à 150 tonnes/km2/an. L'épaisseur du sol perdu pendant cette période serait d'environ 9 cm. Ainsi durant cette phase, le rythme d'érosion aurait été similaire à celui calculé pour le bassin versant de Waitabu au cours des 900 dernières années. La concentration des particules carbonisées durant cette phase d'érosion et de dépôt a été extrêmement élevée, ce qui suggère des brûlis intenses et répétés qui correspondent bien à l'état de la végétation à talasiga actuelle.

Quelle que soit la raison de l'inversion des datations dans ce marais, leur proche localisation dans le profil indique que, au moins dans la partie supérieure du niveau B, les taux d'érosion ont été faibles. Ceci est en contraste avec le site de Waitabu dans lequel les phases initiales du dépôt étaient extrêmement rapides.

4.3 - Levuka

En ce qui concerne le marécage de Levuka, aucune donnée concernant les particules carbonisées n'est disponible. Les estimations des intensités de l'érosion sur ce bassin versant, actuellement couvert d'une végétation à talasiga, sont assez voisines de celles obtenues pour Nabuni.

Au cours de la première phase de sédimentation (niveau B), les taux d'érosion sur le bassin versant auraient été de 11,4 cm/

Over the last 900 years, the rate of erosion again slowed down, to 7 cm/1000 years or 105 tons/km2/year, removing a further six centimetres from the surface of the catchment. At first the concentrations of carbonized particles remained stable but later they fell sharply, indicating a huge reduction in the number of fires in the area.

4.2 - Nabuni

The history of erosion and fire in this catchment, almost entirely covered with a talasiga vegetation, raises more problems than that of Waitabu because of uncertainties in the datings.

A low concentration of carbonized particles in the bottom two metres of the core (C horizon) suggests that erosion and the accumulation of colluvio-alluvial material were accompanied by a few fires. It is impossible to say whether or not this formation preceded man's arrival on the island but, as its characteristics and topographic position resemble those of the large colluvio-alluvial deposits described elsewhere in this publication, it may be supposed that this material is of the same origin and age (middle to upper Quaternary) and that it did not accumulate during the very recent period of human settlement on the island.

During the next phase of accumulation (B horizon), the area of deposition became increasingly hydromorphic. The concentrations of carbonized particles rose sharply, the first evidence of serious fires. Extrapolation of the outer limits of dating (see Fig. 22), taken in conjunction with the sudden increase in the concentration of carbonized particles, suggests that this horizon probably began to accumulate with man's arrival on the island.

The erosion rate during the last phase of deposition (A horizon) was somewhere between 4 and 10 cm/1000 years or 60 to 150 tons/km2/year, equivalent to the removal of about 9 cm of soil from the catchment. Erosion during this phase therefore proceeded at about the same pace as that calculated for the Waitabu catchment over the last 900 years. During this phase of erosion and deposition, the concentrations of carbonized particles were extremely high, a sign of intense and repeated fires. This correlates well with the state of the present talasiga vegetation.

Whatever the reason for the inverted datings in this swamp, the fact that the material concerned was quite close together in the profile indicates that, at least for the upper part of the B horizon, erosion rates were low, in contrast to the Waitabu swamp where deposition began very quickly.

4.3 - Levuka

For the Levuka swamp, there are no data on the carbonized particles. The estimated rates of erosion from the catchment, now covered with a talasiga vegetation, approximate to those obtained for Nabuni.

During the initial phase of sedimentation (B horizon), erosion rates on the catchment would have been 11.4 cm/1000 years or 171 tons/km2/year. As in the case of Nabuni, this rate is low in comparison with the figure calculated for Waitabu during the same period.

The next phase (the last 900 years) saw the rate drop still further, to 8 cm/1000 years or 120 tons/km2/year. These figures are very close to the findings for the other two swamps.

Three conclusions may be drawn from this study of erosion :
— first, erosion seems to have been more intense around 2000 years ago than it is today : This is particularly apparent for

1000 ans, soit 171 tonnes/km²/an. Comme pour Nabuni, ce taux d'érosion est faible par rapport à ceux calculés pour Waitabu pendant la même période.

Au cours de la phase suivante (900 dernières années), le taux d'érosion a encore baissé (8 cm/1000 ans ou 120 tonnes/km²/an). Ces valeurs sont très voisines de celles obtenues dans les deux autres marécages.

Trois conclusions peuvent être tirées de cette étude de l'érosion :

— Tout d'abord cette érosion semble avoir été plus forte il y a environ 2000 ans qu'à l'heure actuelle. Ceci est particulièrement net pour le bassin versant foresté de Waitabu.

— Les taux d'érosion minimum il y a environ 2000 ans auraient été très nettement supérieurs (plus de 10 fois plus) sur le bassin versant actuellement foresté de Waitabu que sur les bassins versants actuellement sous végétation à Talasiga de Nabuni et de Levuka.

— Les taux d'érosion minimum au cours des mille dernières années semblent par contre assez similaires sur ces trois bassins versants quelle que soit la nature du couvert végétal. Ils sont assez comparables à ceux obtenus sous végétation naturelle dans d'autres régions intertropicales :

- 2,7 cm/1000 sur la Dumbéa en Nouvelle Calédonie (TRESCASES 1975),
- 12,5 cm/1000 sur roche ultrabasique en Nouvelle Calédonie (BAUDUIN communication personnelle),
- 2 cm/1000/an sur le site de Kuk en Nouvelle Guinée (GOLSON et HUGHES 1976),
- 7 à 12 cm/1000/an en Côte d'Ivoire sous savane (LENOIR cité par TRESCASES, 1975),
- 5 cm/1000/an à Madagascar (HERVIEU 1968).

Les taux d'érosion calculés pour les périodes antérieures sont par contre nettement plus élevés.

the forested catchment at Waitabu.

— Second, minimum erosion rates about 2000 years ago appear to have been distinctly higher (over 10 times higher) on the now forested catchment of Waitabu than on the now talasiga-covered catchments of Nabuni and Levuka.

— Thirdly, the minimum erosion rates over the last thousand years, on the other hand, seem to be fairly similar for all three catchments, whatever the type of plant cover, and comparable to the figures obtained in other intertropical regions under natural vegetation :

- 2.7 cm/years on the Dumbea in New Caledonia (TRESCASES 1975)
- 12.5 cm/1000 years on ultrabasic rock in New Caledonia (BAUDUIN, personal communication)
- 2 cm/1000 years on the Kuk site in New Guinea (GOLSON and HUGHES 1976)
- 7 to 12 cm/1000 years under savanna in the Ivory Coast (LENOIR, cited by TRESCASES, 1975)
- 5 cm/1000 years on Madagascar (HERVIEU 1968).

The erosion rates for earlier periods, however, come out much higher.

5 - DISCUSSION

5.1 - Morphogénèse, pédogénèse

Il est intéressant, étant donné l'aspect tronqué de beaucoup de sols de Lakeba, de comparer ces taux d'érosion aux taux d'avancé de front d'altération. Cette comparaison est un peu hypothétique vu l'absence de mesures sur la progression du front d'altération à Lakeba. Toutefois, les valeurs moyennes citées dans la littérature dans le domaine intertropical donnent des chiffres compris entre 0,5 et 5 cm/1000 ans (LENEUF 1959, HERVIEU 1968, TRESCASES 1975). Ces chiffres apparaissent voisins à légèrement inférieurs aux taux moyens d'érosion calculés au cours du dernier millénaire sur ces bassins versants. La morphogénèse l'emporterait donc actuellement légèrement sur la pédogénèse. Ce déséquilibre aurait été bien plus net il y a environ 2000 ans, particulièrement sur le bassin versant de Waitabu. Il peut dans ce cas expliquer en partie l'aspect tronqué des eutric cambisols qui couvrent ce bassin versant. Ce déséquilibre au cours de cette période récente (3000 dernières années) n'apparaît pas toutefois suffisant pour expliquer l'aspect tronqué des ferralic cambisols qui couvrent les bassins versants de Nabuni et de Levuka. L'érosion durant les 3000 dernières années, période problable d'occupation de l'île par l'homme n'apparaît ainsi qu'en partie responsable de l'aspect tronqué des sols des collines.

5 - DISCUSSION

5.1 - Morphogenesis and pedogenesis

The truncated aspect of many soils on Lakeba makes it interesting to compare erosion rates with the pace at which the weathering front advances even though the comparison is somewhat hypothetical because its progress on Lakeba was not measured. However, the averages mentioned in the literature for inter-tropical zones range from 0.5 to 5 cm/1000 years (LENEUF 1959, HERVIEU 1968, TRESCASES 1975), figures which seem close to or slightly below the average erosion rates of these catchments as calculated for the last thousand years. Hence morphogenesis is at present slightly superior to pedogenesis. The disparity would have been much greater about 2000 years ago, especially for the Waitabu catchment, and would go some way towards explaining the truncated aspect of the eutric cambisols found there. However, disparities during the recent period (last 3000 years) do not appear great enough to account for the truncated aspect of the ferralic cambisols which mantle the Nabuni and Levuka catchments. In consequence, the erosion of the last 3000 years, the probable period of human occupation of the island, seems only partly responsible for the truncated of its hill soils.

5.2 - Man's impact on the landscape

The very high concentration of carbonized particles found

5.2 - Influence de l'homme sur le paysage

Les taux d'accumulation de particules carbonisées très élevés observés dans l'ensemble du sondage de Waitabu particulièrement avant 1750 BP, reflètent indubitablement des brûlis anthropiques importants et réguliers du marécage et de son environnement. Au cours des 1900 dernières années, 50 cm de sol ont été enlevés à la surface de ce bassin versant dont plus de la moitié au cours de la période comprise entre 1900 et 1750 BP. Cet enlèvement s'est alors effectué à un rythme de 2600 tonnes/km²/an. Ces chiffres extrêmement élevés sont à comparer aux chiffres cités sous culture en zone intertropicale (560 à 2930 tonnes/km²/an sous culture traditionnelle en Afrique intertropicale (COMBEAU 1977), 1500 à 3400 tonnes/km² au cours d'un mois de saison chaude sous culture maraîchère sur forte pente à Tahiti (SERVANT 1974). Ils sont donc très compatibles avec une érosion normale sous culture itinérante.

Les défrichements, les brûlis en forêt et l'érosion et l'appauvrissement des sols qui en ont résulté ont probablement modifié la composition floristique de la forêt dans ce bassin versant. Il est toutefois remarquable de constater que ces dégradations n'ont probablement jamais provoqué la disparition complète de la forêt.

La baisse des taux d'érosion et d'accumulation des particules carbonisées après 1750 BP et plus nettement encore après 900 BP peut s'expliquer par la réponse des bassins versants aux facteurs suivants :

— l'intensité de l'utilisation qui a diminué dans le temps à cause de l'appauvrissement des sols et de sa moins grande aptitude à l'horticulture,

— l'enlèvement de la partie superficielle meuble du sol à un rythme bien supérieur à la progression du front d'altération qui a permis la mise à nu d'horizons d'altération plus résistants.

Le déclin brutal des brûlis dans l'histoire récente de ce marécage peut refléter l'arrêt presque total de l'interférence humaine sur ce bassin versant. Ceci permet une corrélation intéressante avec les données historiques d'une migration de la population vers la Côte et de son déclin en valeur absolue. Cette baisse des brûlis avait favorisé la régénération de la forêt et l'établissement d'une forêt secondaire.

Comme pour Waitabu, les marécages de Nabuni et de Levuka sont les témoins d'érosion et de brûlis d'origine anthropique. Environ 240 cm de sédiments se sont accumulés à Nabuni et 250 cm à Levuka soit une érosion moyenne sur les bassins versants de 17 à 33 cm au cours des 3000 dernières années. Cette différence entre ces deux sites et celui de Waitabu réside très probablement en grande partie dans l'état du sol et de la végétation lors de l'arrivée de l'homme sur l'île. Les sols dans les bassins versants de Nabuni et de Levuka étaient vraisemblablement déjà tronqués à cette époque. Cette troncature liée à la mise en place des colluvio-alluvions aurait pris place au cours d'épisodes secs du quaternaire moyen à supérieur. Elle a toutefois conservé à la surface du sol un épais manteau d'altération ferrallitique très lixivié en base et relativement infertile (Ferralic cambisols). Les possibilités de culture dans ce milieu étaient donc, comme actuellement, assez réduites. Sur ces sols très peu fertiles, le couvert végétal avant l'arrivée de l'homme était probablement de type forestier mais il devait être relativement pauvre en espèces et peut-être voisin des formations à talasiga dense observées dans certaines sections de l'île actuellement. Les feux jouaient déjà un rôle sur l'équilibre de ces milieux comme l'indiquent les teneurs en particules carbonisées des niveaux inférieurs de Nabuni. Ceci explique l'effet plus réduit de l'érosion sur ces bassins versants, après l'extension des feux liée à l'arrivée de l'homme, que sur le bassin de Waitabu qui était couvert d'une forêt dense.

throughout the Waitabu bore, especially prior to 1750 BP, undoubtedly reflects man's regular and extensive burning of the swamp and its surrounding area. Over the last 1900 years, 50 cm of the topsoil has been removed from this catchment, more than half of it between 1900 and 1750 BP at a rate of 2600 tons/m2/year. These extremely high figures should be compared with other findings for cultivated areas in the intertropical zone : 560 to 2930 tons/Km2/year under traditional crops in intertropical Africa (COMBEAU 1977) and 1500 to 3400 tons/km2 in the course of one hot-season month for land under market gardening on a steep slope in Tahiti (SERVANT 1974). They are accordingly perfectly compatible with normal erosion under shifting cultivation.

The clearing and burning of forest, and the erosion and impoverishment of the soil have probably altered the floristic composition of the forest in this particular catchment. Nevertheless, it is a remarkable fact that this degradation never seems to have caused the forest to disappear altogether.

The fall in the rates of erosion and of accumulation of carbonized particles after 1750 BP, and the even greater fall after 900 BP, can be explained by the reaction of the catchments to :

— the intensity of human use, which gradually eased because of soil impoverishment and its declining suitability for food crops,

— the removal of loose topsoil at a far faster rate than the advance of the weathering front, which uncovered more resistant weathering horizons.

The sudden decline in the use of fire during the recent history of this swamp may indicate that man put a halt to virtually all his activities in this catchment. This suggests an interesting correlation with historical evidence of population movements towards the coast and the decline in numbers. Less burning of the land favoured renewal of the forest and secondary growth.

Like Waitabu, the Nabuni and Levuka swamps provide evidence of erosion and anthropogenous fires. About 240 cm of sediments have accumulated at Nabuni and 250 cm at Levuka, representing an average erosion from the catchments of between 17 and 33 cm over the last 3000 years. The difference between these two sites and Waitabu is in all likelihood largely due to the state of the soil and vegetation when man first arrived on the island. The soils in the Nabuni and Levuka catchments were probably already truncated by that time. Their truncation, being related to the formation of the colluvio-alluvial deposits, would have taken place during dry periods of the middle to upper Quaternary. Despite truncation, however, the soil is mantled with a thick layer of ferrallitic weathering highly leached in bases and relatively infertile (ferralic cambisols). In this environment, therefore, crop-raising possibilities were, as they are now, rather limited. On these very poor soils, the plant cover prior to man's arrival was probably of the forest type but with relatively few species and possibly rather like the dense talasiga formations to be seen in certain parts of the island today. The number of carbonized particles in the lower horizons of Nabuni shows that the equilibrium of these environments was already affected by fires. This accounts for the fact that after the more widespread occurrence of fires which accompanied man's arrival, erosion had less impact on these catchments than on that of Waitabu, which was under dense forest.

5.3 - Origin of the swamps

The presence of these swamps in the valleys raises the question of their origin. In fact, step-like series of four or five swamps run down certain valleys. Even though the gradients of

5.3 - Origine des zones marécageuses

La présence de ces zones marécageuses dans les vallées pose le problème de leur origine. Certaines de ces vallées possèdent en effet quatre à cinq marécages successifs le long de leurs cours. Or même si les pentes de ces cours d'eau sont relativement faibles (0,5 à 2,5 %) elles n'expliquent pas de telles accumulations. D'autant que ces zones marécageuses sont souvent suivies le long du cours d'eau par de petits rapides, sans pour autant qu'une barre rocheuse puisse être mise en évidence.

L'étude de ces trois marécages permet d'envisager deux causes à leur formation :

— dans le cas des marécages subcôtiers, comme celui de Levuka, il semble que la cause première de la formation du marais soit la construction d'un cordon littoral qui a bloqué le drainage de cette vallée. Ce cordon littoral serait en effet d'origine très récente (2000 à 3000 ans) dans le cas de Levuka (R.F. Mac LEAN, 1979). Il aurait permis l'accumulation de sédiments en amont et la croissance dans une zone saumâtre puis d'eau douce d'une végétation hydromorphe qui aurait été la base de l'accumulation de ces tourbes. Ce processus se poursuit de nos jours ;

— dans le cas des marécages intérieurs, les causes peuvent être plus complexes et peut-être pas uniques. L'étude du marais de Nabuni permet d'avancer une hypothèse anthropique. Il semble en effet que le niveau C de ce dépôt se soit accumulé dans des conditions bien drainées. Les conditions hydromorphes n'apparaissent dans les sédiments qu'avec l'accroissement brutal des particules carbonisées dans les sédiments et donc des feux dans l'environnement. On peut alors supposer qu'à la suite de feux importants, des barrages formés de branches ou de troncs se seraient accumulés dans les fonds de vallées lors de violents cyclones. Derrière ces barrages une première sédimentation rapide aurait pris place permettant la formation des marécages initiaux. L'homme a peut-être et même favorisé ces accumulations, notamment au cours du dernier millénaire afin d'étendre ses cultures de taro irriguées. Les réseaux d'irrigation créés pour ces cultures ralentissent en effet le courant et favorisent la sédimentation. La préservation de petits bosquets en aval de la plupart de ces marécages, dans une île où le bois est rare et recherché, est aussi probablement à mettre à l'actif d'agriculteurs avisés. Leur présence renforce les barrages de terre existants. Par ailleurs, il faut remarquer, par exemple, dans la vallée de Xadrana, que des zones de cultures de taro irriguées entièrement artificielles ont été créées. Ces zones de cultures sont en effet situées sur les berges du cours d'eau à un ou deux mètres au-dessus du niveau de l'eau courante. Cette maîtrise de l'eau est d'ailleurs une constante dans l'agriculture océanienne. Il est donc très probable que ces agriculteurs ont favorisé l'extension de ces marécages pour leurs cultures et qu'ils sont peut-être à l'origine de nombre d'entre eux.

the streams are quite gentle (0.5 to 2.5 %), this cannot account for such accumulations, especially as the swamps are often followed by little rapids along the stream with no sign of a barrier of rock.

Study of the three swamps produced two possible explanations of their formation :

— In the case of the sub-coastal swamps, such as the Levuka swamp, the main factor appears to have been the construction of a coastal belt which blocked the drainage of this valley. This coastal belt, apparently of very recent origin (2000 to 3000 years) where Levuka is concerned (R.F. Mc LEAN, 1979), would have enabled sediments to accumulate upstream and facilitated the growth, in a stretch of initially brackish and subsequently fresh water, of a hydromorphic vegetation which would have formed the basis of the peats. The process is still going on today.

— For the inland swamps, the factors in question can be more complex and there might be more than one explanation. Study of the Nabuni swamp suggests an anthropogenous origin : the C horizon appears to have accumulated under well-drained conditions ; the sediments show no signs of hydromorphic conditions until the sudden increase in the number of carbonized particles in the deposits, indicating fires in the neighbourhood. One might therefore conclude that, as a result of large fires, dams composed of tree-trunks and branches were piled up in the valley bottoms by violent hurricanes. Behind these dams an initial rapid sedimentation would have formed the first swamps. It is possible that man gave a helping hand, particularly in the last thousand years, in order to extend his plots of irrigated taro, since the irrigation system dug for this crop would slow down the current and encourage sedimentation. The fact that, on an island where timber is scarce and sought after, small clumps of trees have been left intact at the downstream end of most swamps is probably also the work of experienced cultivators for they would reinforce the existing earth dams. It should also be noted that, in the valley of Yadrana, for example, entirely man-made irrigated taro plots have been established on the banks of the stream, from one to two metres above the running water. Indeed, such skill in the use of water is a regular feature of agriculture in Oceania. It is, therefore, highly probable that these cultivators encouraged the swamps to spread and possibly created some of them.

CONCLUSION

Les marécages de Lakeba apparaissent donc comme des témoins très précieux de l'histoire de l'île au cours des trois derniers millénaires. La masse de sédiments accumulée est un indicateur des érosions qui ont pu se produire dans leurs bassins versants. La quantité de particules carbonisées atteste de l'importance des feux de brousse qui se sont produits au cours de leur formation. Cette histoire apparaît toutefois très récente. Que ces marécages soient d'origine naturelle (marécages subcôtiers) ou peut-être anthropique (marécages intérieurs), leur histoire ne semble pas pouvoir être remontée plus loin que

CONCLUSION

The Lakeba swamps provide very valuable evidence of the island's history over the last three thousand years. The extensive accumulation of sediments indicates the amount of erosion from the catchments ; the number of carbonized particles underlines the important role of the bush fires which occurred while they were being formed. Yet they appear to be of very recent origin : whether natural (the sub-coastal swamps) or possibly man-made (the inland swamps), they do not appear to date back beyond 3000 BP or the time at which man probably set foot on the island.

3000 ans BP soit probablement l'époque de l'arrivée de l'homme sur l'île.

L'un des points saillants de cette histoire est l'utilisation que l'homme a pu faire de ce milieu et la part qu'il a su tirer des catastrophes écologiques qu'il avait engendrées. Après une utilisation intense des pentes forestées, pour ces cultures itinérantes, il a transporté ses cultures dans les zones marécageuses qu'il avait favorisées sinon créées par le déclenchement d'érosions excessives sur les pentes. L'érosion s'est alors ralentie et la forêt semble avoir repris le dessus dans les secteurs les plus propices. Par un système d'irrigation très extensif et peut-être dans certains cas par la création de bosquets en aval de ces marécages, bosquets destinés à servir de barrage aux fortes crues, il a entretenu ces zones marécageuses pour ses cultures de taro irriguées.

Un autre point saillant de cette histoire semble être la grande résistance de milieu aux assauts que l'homme lui a fait subir par les feux ou les défrichements. La forêt semble avoir repris du terrain dans le bassin de Waitabu et les feux répétés sur les bassins versants de Nabuni et de Levuka ne paraissent pas avoir été suivis d'érosions très importantes. Cette question sera reprise dans le chapitre traitant de l'origine de la formation à Talasiga.

A la suite de l'étude de ces marécages, il semble donc que l'utilisation de Lakéba par l'homme au cours des trois derniers millénaires, après une période initiale peut-être un peu anarchique, se soit faite de façon plus raisonnable. L'érosion actuelle sur les bassins versants apparaît en effet très comparable à celle notée par ailleurs dans le monde tropical. Elle reste toutefois encore élevée par rapport aux chiffres supposés de l'avancée du front d'altération et ne permet donc par la reconstitution des sols.

An outstanding feature of this history is man's use of this environment and his ability to turn ecological disasters of his making to his own advantage. After his intense use of the forested slopes for shifting cultivation, he transferred his crops to the swamps which he had either helped to form or created by triggering off excessive erosion of the slopes. The erosion than slowed down and, in the most favourable zones, the forest seems to have regained the upper hand. By means of an extensive system of irrigation and possibly, in some cases, by planting clumps of trees just below these swamps to counter the effects of flooding, he carefully maintained the swamps for his cultivation of irrigated taro.

Equally remarkable is the great apparent resistance of this environment to man's ravages by fire or forest clearance. The forest appears to have won back certain parts of the Waitabu catchment and the repeated burning of the Nabuni and Levuka catchments do not seem to have caused serious erosion. We shall return to this question in the chapter on the origin of the talasiga formation.

Study of the swamps thus leaves the impression that man's use of Lakeba over the last three thousand years was possibly somewhat disorganized to begin with but then became more discriminating. Present-day erosion from the catchments is in fact quite similar to that recorded elsewhere in the tropics but it is still too high in relation to our hypothetical figures for progress of the weathering front to permit reconstitution of the soils.

F - PLUVIOMETRIE, INFILTRATION ET RUISSELLEMENT A LAKEBA

1 - IMPORTANCE DE L'INFILTRATION

Nombre des processus que l'on considère comme contribuant à la création ou au maintien du complexe sol-végétation dénommé Talasiga aux îles Fidji sont liés aux modifications de la capacité d'infiltration du sol. L'appauvrissement du sol et son érosion s'accélèrent beaucoup si l'eau de pluie, au lieu de s'écouler à travers les pores de surface et de percoler à travers le sol, s'écoule directement à la surface par ruissellement. L'eau de ruissellement peut rapidement transporter des matériaux vers les bas des pentes et produire un ruissellement en nappe et la formation de rigoles, voire de ravines. La probabilité de ces effets néfastes est particulièrement grande sur une île comme Lakéba où la végétation brûle régulièrement et d'une manière importante. Tant que le couvert végétal n'est pas reconstitué, la surface du sol reste à nu : l'infiltration est entravée par le compactage du sol dû aux chutes de pluie.

Certes, pour que se produise le phénomène de ruissellement, il faut que le sol ait atteint le stade de saturation. C'est ce qui se passe lorsque l'intensité de la pluie (en mm par minute) est supérieure à la vitesse d'infiltration (en mm par minute), si bien que le sol n'est plus capable d'emmagasiner de nouveaux apports de pluie. Outre la texture du sol, nombre de variables influent sur la capacité d'infiltration, notamment l'humidité du sol (en partie fonction des conditions météorologiques antérieures), la vitesse de pénétration (qui dépend de la perméabilité du substrat, du relief local et de la pente) et des micro-effets résultant de la présence de terriers, de cavités laissées par les racines ou de conduites. Une analyse sérieuse des caractéristiques d'infiltration des sols de Lakéba devrait donc tenir compte d'un large éventail de conditions. Les ressources disponibles au titre du projet n'ont pas permis de procéder à une analyse aussi approfondie, mais on a fait une enquête de reconnaissance sur les vitesses d'infiltration des sols près de Yadrana, au nord de Lakéba. Ce sont ces données qui sont analysées dans le présent chapitre en liaison avec le régime particulier des pluies constaté sur cette île.

2 - PLUVIOMÉTRIE ET RUISSELLEMENT A LAKÉBA

Les caractéristiques des pluies à Lakéba ressortent de l'analyse des notations journalières effectuées à Tubou de 1959 à 1975. D'après ces données, des chutes de pluie de forte intensité constituent une proportion élevée du total annuel relativement modeste (à peine plus de 2000 mm) ; en moyenne 61 % des précipitations tombent sous forme d'averses d'intensité égale ou supérieure à 25 mm par jour. Au cours de cette période, la chute de pluie journalière la plus importante a atteint 224 mm, et la chute de pluie la plus importante pendant cinq jours consécutifs

F - RAINFALL, INFILTRATION AND RUNOFF ON LAKEBA

1 - THE RELEVANCE OF INFILTRATION

Many of the processes that have been suggested as contributing to the initiation or maintenance of the Talasiga *soil-vegetation complex in Fiji relate to changes in the infiltration capacity of the soil. Soil impoverishment and erosion are much accelerated if rainfall does not percolate into the ground and seep into surface channels via throughflow, but instead flows directly off the surface as overland flow. Flowing surface water can rapidly transport material downslope, and can lead to sheetwash, rill formation and even gullying. These adverse effects are particularly probable on an island like Lakeba which is subject to regular and severe burning of the vegetation. Until the vegetation cover is re-established the soil surface is exposed, with the result that infiltration is impeded by rainsplash compaction of the soil surface, and the effective precipitation is increased by the reduced interception and evaporation.*

For overland flow to occur, however, the infiltration capacity of the soil must be exceeded. This happens when the rainfall intensity (mm per minute) exceeds the infiltration rate (mm per minute) so that the soil becomes unable to soak up further inputs of rain. Apart from a soil's inherent texture, there are a number of variable factors influencing infiltration capacity, including soil moisture (partly a function of preceding weather conditions), the rate of throughflow (affected by subsoil permeability, local topography and slope), and micro-scale effects resulting from the presence of burrows, root channels and pipes. A proper survey of the infiltration characteristics of Lakeba soils would thus need to include a wide range of conditions. Resources did not permit such largescale research by the project, but a reconnaissance survey was made of infiltration rates in soils near Yadrana, north Lakeba. These data are discussed in this chapter, in the context of the particular rainfall regime found on the island.

2 - RAINFALL AND RUNOFF ON LAKEBA

The characteristics of the Lakeba rainfall regime are revealed by an analysis of the daily records kept at Tubou, covering the period 1959-1975. These data show that high intensity rainfalls contribute a high proportion of the rather modest annual total of just over 2000 mm, with an average of 61 % of rain falling in showers equal or greater in intensity than 25 mm per day. The largest daily rainfall during this period was 224 mm. The largest during five consecutive days was 424 mm, or one-fifth of the total mean annual rainfall. The return period of daily rainfalls equal or greater than various magnitudes is shown in Figure 24,

424 mm, soit un cinquième de l'ensemble des précipitations moyennes. La récurrence des précipitations journalières de différentes ampleurs est indiquée sur la figure 24, et les moyennes mensuelles, avec leur maxima et leur minima, à la figure 25.

Par ailleurs, Lakéba connaît aussi des périodes de sécheresse. Au cours des quinze dernières années, les trois plus graves ont été les suivantes :

Année	Durée de la sécheresse (en mois)	Précipitations (en mm par mois)
1961	4.5	62
1966	5.4	31
1969	4.1	22
Moyenne mensuelle des précipitations 1950-1975		169

En outre, il y a chaque année des périodes plus courtes de temps sec. C'est alors que la végétation non forestière de Lakéba brûle si facilement. La périodicité de ces incendies de talasiga n'est pas connue, mais pour que la régénération des zones de talasiga à couvert de fougères et de roseaux soit si difficile, elle doit être, dans la majeure partie de l'île inférieure à cinq ans.

La conjonction de fortes averses intermittentes et d'une surface fréquemment exposée ou à faible couvert végétal crée des conditions favorables à un ruissellement rapide, dans la mesure où la capacité d'infiltration du sol est saturée. Les observations faites à Lakéba tendent à montrer que, sauf dans les zones calcaires, la plupart des sols ont, en fait, une capacité d'infiltration médiocre ou faible. C'est ainsi qu'à l'aéroport, le ruissellement provenant de sols colluviaux recouverts d'une maigre végétation sur la piste elle-même a suffi pour faire apparaître en cinq ans tout un réseau de rigoles qui menace actuellement toute la surface de la piste. Même sur les ferralsols à couvert végétal dense des zones à talasiga, on observe à chaque forte averse un certain ruissellement sur le sol. Dans les zones brûlées, le microrelief des pentes est souvent constitué d'une série de terrasses en forme de marches pouvant atteindre 5 m de largeur. Les dépôts épars à la surfae de chacune de ces marches témoignent d'un important ruissellement en nappe. Lorsque l'horizon A de faible épaisseur d'un sol à talasiga se trouve complètement érodé par ce processus, faisant place à l'argile sous-jacente, la reconstitution de la végétation est gravement compromise. Ces zones restent dénudées et, dans certaines parties de l'île (par exemple dans les collines au sud de Nasaqalau), elles deviennent le centre de réseaux de rigoles creusées par l'érosion.

Des mesures faites à Yadrana au cours d'un orage en août 1975 confirment également la mauvaise perméabilité des sols de Lakéba et par conséquent, le haut risque de crues brutales des cours d'eau. Dans un petit bassin versant (301 ha), un orage modéré qui a donné 35 mm de pluie au total en 8 heures, à provoqué au bout de 6 heures une pointe de ruissellement égale au moins au tiers de l'intensité moyenne des précipitations sur l'ensemble du bassin versant et représentant un débit 40 fois plus fort que le débit de base du cours d'eau (voir BAYLISS-SMITH,1977 pour les détails. Ces orages se produisent environ un fois par mois sur Lakéba, comme le montre la figure 24. Le bassin versant du Yadrana, d'après la carte de vététation de Latham, est recouvert à 71 % par une végétation de type talasiga, essentiellement la formation basse avec quelques buissons et un maigre couvert herbacé dominé par la fougère *Dicranopteris linearis*. Une partie de la zone avait brûlé et certains des cambisols eutrophes des pentes les plus abruptes étaient sous cultures. Les sols sont variés, mais sur les collines dénudées les sols ferrallitiques rajeunis sont pour la plupart tronqués par l'érosion et pauvres en matières organiques. On a

and the monthly means, maxima and minima are shown in Figure 25.

On the other hand, droughts are also experienced on Lakeba. The three most severe ones in the last 15 years were as follows :

Year	*Drought Duration (months*	*Rainfall (mm/month)*
1961	*4.5*	*62*
1966	*5.4*	*31*
1969	*4.1*	*22*
Mean monthly rainfall, 1950-75		*165*

In addition, shorter periods of dry weather occur every year. It is at such times that the non-forest vegetation of Lakeba is so easily burnt. The recurrence interval of Talasiga fires is not known, but in most parts of the island it must be less than five years for scrub regeneration in fern and reed-covered Talasiga areas to be so much inhibited.

The combination of heavy intermittent rain showers and a frequently exposed or lightly vegetated ground surface provides the pre-conditions for rapid runoff, provided that the infiltration capacity of the soil is exceeded. Observations on Lakeba would suggest that, except in the limestone areas, most soils do indeed have moderate or poor infiltration capacities. At the airport, for example, the runoff from poorly-grassed colluvial soils on the runway itself has been sufficient in five years for a system of gullies to develop which now threatens the whole surface of the airstrip. Even on the fully vegetated ferralsols of the Talasiga country some overland flow can be observed during any heavy rainstorm. In burnt areas the microtopography of slopes often consists of a series of step-like terraces up to 5 m wide. Loose detritus on the surface of each step is evidence of severe sheetwash. When the thin A-horizon of a Talasiga soil is removed altogether by this process and the underlying clay is exposed, plant recolonization is greatly inhibited. Such areas remain bare, and in some parts of the island (for example, the hills south of Nasaqalau) they become the focus of gully erosion systems.

Measurements made at Yadrana during one rain storm in August 1975 provide further evidence of the poor infiltration characteristics of Lakeba soils, and in consequence the liability of streams to flash floods. In one small catchment (301 ha) a moderate storm, which totalled 35 mm of rainfall over an 8-hour period, produced a peak runoff after 6 hours which was at least one-third of the mean rainfall intensity over the whole catchment, and which represented a discharge forty times greater than the base-flow of the stream (see BAYLISS-SMITH 1977 for details). Such storms must recur on Lakeba about once a month, as Figure 24 shows. The Yadrana catchment, according to Latham's Carte de Vegetation, has 71 % Talasiga vegetation, mainly the low formation with few shrubs and a poor herbaceous layer dominated by the fern Dicranopteris linearis. *Some of the area had been burnt, and some eutric cambisols on the steeper slopes were under cultivation. The soils are varied, but on the bare hills the ferralic cambisols are mostly truncated by erosion and low in organic content. A very inefficient water storage capacity can be inferred for the catchment as a whole, but it seemed worthwhile to attempt more detailed and direct measurements within the catchment on the infiltration rates of different slopes and soils.*

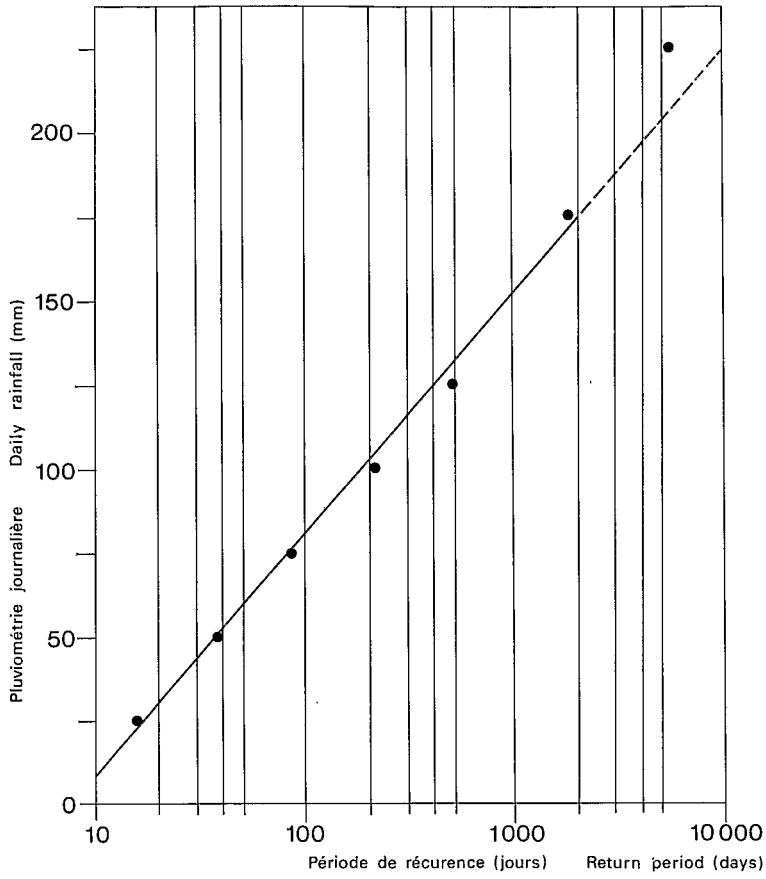


Figure 24 :
Périodes de recurrence moyenne des pluies journalières de différentes ampleurs : Tubou, Lakéba
Average return periods of daily rainfalls of different magnitude : Tubou, Lakeba

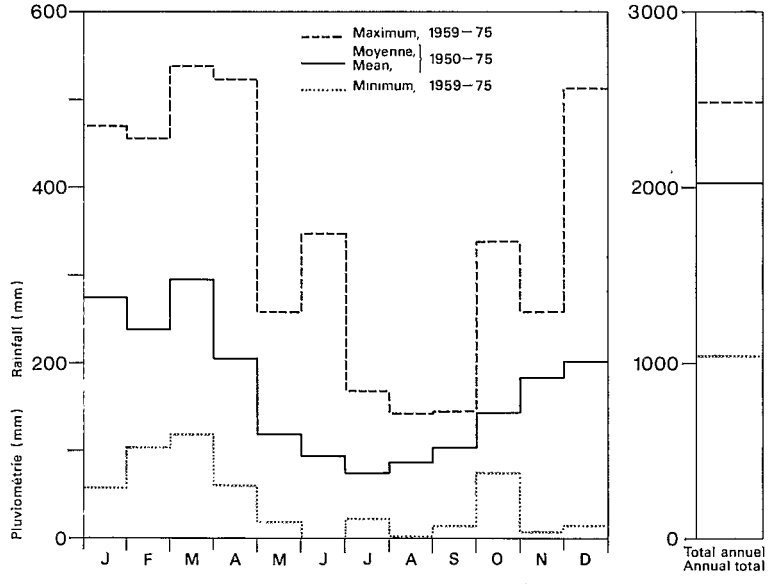


Figure 25 :
Pluviométrie moyenne, maximum et minimum à Lakéba
Average, maximum and minimum totals of rainfalls, Lakeba

pu en déduire que l'ensemble du bassin versant a une capacité très limitée de stockage de l'eau, mais il a paru utile de procéder à des mesures plus détaillées et plus directes de la vitesse d'infiltration de plusieurs pentes et de plusieurs sols du bassin versant.

3 - MÉTHODES POUR LA MESURE DE L'INFILTRATION

Pour l'infiltromètre, on a utilisé un cylindre de métal. On a enfoncé celui-ci qui mesurait 200 mm de longueur et 75 mm de diamètre, à 100 mm dans le sol en prenant bien soin de ne pas remuer la colonne de sol située à l'intéreur ; à l'endroit choisi le sol avait été préalablement débarrassé de toute végétation. On a alors versé dans le cylindre une certaine quantité d'eau et pendant les 5 minutes qui ont suivi, on a évalué la vitesse d'infiltration en mesurant toutes les 30 secondes le niveau de l'eau à l'intérieur du cylindre.

Les sites ont été choisis à différents points le long de trois toposéquences dans la vallée, chacun faisant l'objet de relevés effectués à l'aide d'un double-décamètre et d'un clinomètre. Dans chacun de ces sites, on a noté les types de sols et la végétation, qui ont été classés selon les légendes des cartes de Lakéba établies par LATHAM et par LATHAM et DENIS. A chacun de ces sites, il a été procédé à 2 à 4 lectures d'infiltromètre, le chiffre exact dépendant de la variabilité observée dans le profil du sol et des résultats précédents. En général, les résultats sur chacun des sites ont été très cohérents, comme le montre l'exemple suivant concernant deux sites qui différaient essentiellement par leur couvert végétal (Tableau 27).

Tableau 27. — Vitesse d'infiltration de l'eau dans les sols en fonction des facteurs du milieu

Angle de la pente	Sol	Végétation	Vitesse d'infiltration pour chaque expérience (mm par minute)	
11°	Humic ferralsol tronqué sur andésite	Forêt à geissoïs	1.	10.8
			2.	5.0
			3.	6.8
			4.	11.2
6 - 7°	Ferralic Cambisol érodé sur andésite	Formation basse à *talasiga* pauvre en espèces	1.	0.6
			2.	0.4
			3.	0.6
			4.	1.2

4 - VITESSE D'INFILTRATION EN FONCTION DES PENTES

Les résultats obtenus à la suite de 94 essais d'infiltromètre sur 35 sites sont résumés au tableau 28. Il apparaît en général que la pente et le relief influent plus nettement sur l'infiltration que le type de sol et la végétation, mais cela s'explique en partie par le fait que ces trois facteurs sont tous corrélés. En général, les pentes les plus fortes sont couvertes par des humic ferralsols perméables ou parfois par des cambisols, souvent recouverts de roseau *Miscanthus floridulus* et de broussailles; en revanche, les pentes plus douces sont soit situées en position de bas de pente et sont souvent saturées par l'eau provenant du drainage oblique, soit couverts par des ferralic cambisols imperméables sur les collines.

3 - METHODS FOR INFILTRATION MEASUREMENT

To serve as an infiltrometer, a metal cylinder was used. The cylinder, 175 mm in diameter and 200 mm in length, was sunk 100 mm into the soil, care being taken not to disturb the soil column inside, after the vegetation at the chosen site had been cut to ground level. A measured volume of water was then poured into the cylinder, and in the five-minute period which followed the rate of infiltration was assessed by measuring at 20 second intervals the depth of water remaining inside.

Sites were located at different positions along three cross-valley profiles, each of which was surveyed with tape and abney level. At each site soil type and vegetation were also recorded, and later classified using the Lakeba map legends of LATHAM *and* LATHAM *and* DENIS. *At each site 2 to 4 different infiltrometer readings were made, the exact number depending on observed variability in the soil profile and in earlier results. In general, results at each site were quite consistent, as in the following example of two sites differing mainly in vegetation cover (Table 27).*

Table 27. — Infiltration rates against environmental factors

Slope angle	*Soil*	*Vegetation*	*Infiltration rate in each experiment (mm/minute)*	
11°	*Truncated humic ferralsol on andesite*	Geissois *forest*	1.	10.8
			2.	5.0
			3.	6.8
			4.	11.2
6-7°	*Eroded ferralic cambisol on andesite*	*Low, species-poor* talasiga *formation*	1.	0.6
			2.	0.4
			3.	0.6
			4.	1.2

4 - INFILTRATION RATES ON DIFFERENT SLOPES

The results obtained for 94 infiltrometer experiments at 35 sites are summarized in Table 28. In general slope and topography appear to be more important controls over infiltration than soil type and vegetation, but this is partly because the three factors are all correlated. Steeper slopes usually have the more permeable humic ferralsols, sometimes cambisols, and often supporting Miscanthus floridulus *reeds and scrub; whereas gentler slopes are either at the base of steeper slopes and therefore often saturated with throughflow from above, or alternatively are found on the impermeable eroded ferralic cambisols of the hills.*

Tableau 28. — Vitesses moyennes d'infiltration de pentes proches de Yadrana, Lakéba

Catégorie de pente	Sous-catégorie	Volume de l'échantillon		Vitesse d'infiltration (mm/minute)	
		Nombre de sites	Nombre d'essais	Moyenne	(Ecart-type)
— de 10°	Thalwegs	2	4	3,75	(1.00)
	Zone intermédiaire surtout à talasiga	6	15	2.63	(3.13)
	Plateaux sommitaux	3	7	22.73	(14.11)
10-20°	surtout à talasiga	8	17	3.22	(2.60)
20-30°	Plantations de *Pinus caribaea*	2	7	77.06	(48.45)
	Talasiga ou *Miscanthus* primaire	9	21	16.87	(19.54)
plus de 30 %	*Miscanthus* ou forêt primaire	4	13	44.68	(55.88)

Source : données recueillies sur le terrain.

Table 28. — Average rates of infiltration on slopes near Yadrana, Lakeba

Slope category	*Subdivision*	*Sample Size*		*Infiltration Rate (mm/minute)*	
		No. of sites	*No. of experiments*	*Mean*	*(S.D.)*
Below 10°	*Valley bottoms*	2	4	3.75	(1.00)
	Intermediate mainly Talasiga	6	15	2.63	(3.13)
	Summit plateaus	3	7	22.73	(14.11)
10-20°	*Mainly Talasiga*	8	17	3.22	(2.60)
20-30°	*Plantations of* Pinus caribaea	2	7	77.86	(48.45)
	Original Talasiga vegetation or Miscanthus	9	21	16.87	(19.54)
Over 30°	Miscanthus *or relict forest*	4	13	44.68	(55.88)

Source : *field data*

Les sites se trouvant sur des pentes inférieures à 10° ont des vitesses d'infiltration les plus lentes, sauf sur les plateaux sommitaux sur lesquels se trouvent des acric ferralsols profonds et secs. La deuxième catégorie, celle des pentes moyennes (10-20°) ne comporte pas de sous-catégories au tableau 28, car les sols y sont généralement uniformément dotés d'une faible capacité d'infiltration. Sur les huit sites de cette catégorie, sept correspondent à des ferralic cambisols. La troisième catégorie, celle des pentes fortes (20-30°) est intéressante car elle permet la comparaison entre des sols sous plantations de *Pinus caribaea* et d'autres recouverts d'une végétation à *talasiga* ou de fourrés type *Miscanthus*. Dans cette catégorie de pentes, la vitesse d'infiltration des sols sous plantations de pins est de quatre fois supérieure à celle des sols ayant d'autres types de végétation et près de deux fois supérieure à celle des sols appartenant à la catégorie des pentes très rapides (plus de 30 °).

Sites on slopes below 10° had the lowest infiltration rates, except for summit plateaux with their more mature, deeper and drier, acric ferralsols. The second category, intermediate slopes (10°-20°), is not subdivided in Table 28 since on the whole the soils are uniformly low in infiltration capacity. Seven of the eight sites in this category were on ferralic cambisols. The third category, moderately steep slopes (20°-30°), is of interest because of the comparison that is possible between soils under plantations of Pinus caribaea *and others under Talasiga of* Miscanthus-*scrub vegetation. Infiltration rates under pine in this slope category were four times the rates under other vegetation types, and nearly double the rates found in the category of steepest slopes (over 30°).*

5 - INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Les essais d'infiltration ont été réalisés au cours de la saison sèche pendant une période de beau temps, avec une simulation d'orage ne portant que sur les cinq premières minutes. Les vitesses d'infiltration qui figurent au tableau 28 ne sont donc pas de très grande valeur pour prévoir la fréquence du ruissellement en surface sur les différents sols de Lakéba, étant donné que généralement, et surtout par temps humide, le degré initial d'humidité du sol est bien plus élevé, ce qui a pour effet de réduire la capacité d'infiltration. Même dans ces conditions, il y a lieu de noter que les pentes de 10-20° à talasiga ont une vitesse initiale d'infiltration si faible (3,2 mm à la minute) qu'elle serait presque aussitôt dépassée par l'intensité des précipitations des orages les plus violents.

Les résultats n'en font pas moins apparaître entre les catégories de pentes et de végétation, des différences importantes qui se présentent peut-être le plus nettement en pourcentages du maximum :

5 - SIGNIFICANCE OF RESULTS

The infiltration experiments were conducted during the dry season and during a period of fine weather, and, moreover, simulated only the first five minutes of a rain storm. The rates of infiltration shown in Table 28 are therefore of little value for predicting the frequency of overland flow on different soils on Lakeba, since usually, and especially in wet weather, the initial soil moisture levels would be much higher, thus reducing infiltration capacity. Even so, it should be noted that the 10-20° Talasiga slopes had such a low rate of initial infiltration (3.2 mm/minute) that it would almost at once be exceeded by the rainfall intensities of the heavier storms.

The results do, however, reveal the magnitude of the differences that exist between different slope and vegetation categories, and perhaps are best expressed as percentages of the maximum :

Catégorie des pentes	Sous catégories	Vitesse d'infiltration (% du maximum)
Moins de 10°	Thalwegs	5
	Zone intermédiaire surtout à talasiga	3
	Plateaux sommitaux	29
10-20°	Surtout à talasiga	4
20-30°	Plantations de *Pinus caribaea*	100
	Talasiga ou *Miscanthus* primaire	22
Plus de 30°	*Miscanthus* ou forêt primaire	57

Slope category	*Subdivision*	*Infiltration Rate (% of maximum)*
Below 10°	*Valley bottoms*	5
	Intermediate, mainly Talasiga	3
	Summit plateaus	29
10-20°	*Mainly Talasiga*	4
20-30°	*Plantations of* Pinus caribaea	100
	Original Talasiga or Miscanthus	22
Over 30°	Miscanthus *or relict forest*	57

6 - EFFETS DE LA REFORESTATION EN pins

Le résultat le plus frappant des expériences d'infiltration a été la constatation de l'effet spectaculaire de la reforestation en pins. Des *Pinus caribaea* ont été plantés près de Yadrana en 1969 et en six années, la vitesse d'infiltration du sol est devenue quatre fois plus élevée que celle des pentes voisines ayant le même angle (22-23°), le même type de sol (ferralic cambisol sur andésite), mais une végétation de talasiga à *Miscanthus*. Les sols recouverts de pins sont visiblement mieux agrégés, présentant des signes d'activité biologique, notamment des vers de terre, et sont pénétrés par les racines d'arbre jusqu'à une profondeur de 0,4 m. Les sols voisins à talasiga sont plus denses, ont une activité biologique réduite ou nulle, peu de racines s'enfonçant à plus de 0,1 m et sont plus rouges. Ces résultats sur les vitesses d'infiltration obtenus sur le terrain confirment les prévisions que nous avions faites sur la base de l'analyse des sols en laboratoire (UNESCO/FNUAP, 1977 : 61-64).

Il se peut même que ces résultats sous-estiment l'efficacité des plantations denses de pins en matière de prévention du ruissellement sur le sol et de réduction de l'érosion qui en résulte. Avant de pouvoir réaliser les essais d'infiltration sous les pins, il a fallu débroussailler une couche de végétation extrêmement dense, composée essentiellement de *Miscanthus* mais également de plusieurs autres broussailles et herbes. La surface du sol était recouverte de 5 à 15 mm d'aiguilles de pins mortes. Une étude réalisée par CORNFORTH (1970) dans les Antilles a montré que le *Pinus caribaea* produit moins de litière que les forêts naturelles, mais que les aiguilles de pins se décomposent plus lentement que les litières des arbres à feuilles caduques. Le couvert de pins, la végétation dense au sol et la litière importante constituent un ensemble d'une grande capacité d'interception et d'évaporation, ce qui contribue à réduire encore davantage le ruissellement, sauf pendant des pluies prolongées.

6 - *THE EFFECTS OF PINE AFFORESTATION*

The most clearcut result of the infiltration experiments was the dramatic effect of pine afforestation. The plantation of Pinus caribaea *near Yadrana was planted in 1969, and in six years had produced a soil with an infiltration rate four times higher than that on adjacent slopes with the same angle (22-23°) and soil type (ferralic cambisol on andesite), but with* Miscanthus Talasiga *vegetation instead of pine. The pine soils were noticeably looser in texture, showed signs of earth-worms and other biological activity, and had penetration by tree roots to a depth of 0.4 m. Nearby Talasiga soils were denser showed little or no biological activity and few roots below 0.1 m, and were redder in colour. These field results on rates of infiltration confirm our earlier predictions that were made on the basis of laboratory analysis of soils (UNESCO/UNFPA 1977 : 61-64).*

The results may even understate the effectiveness of dense pine stands in preventing overland flow and so reducing soil erosion. Before the infiltration experiments could be conducted beneath the pines a quite dense ground layer of vegetation had to be cleared, mainly Miscanthus *but including several other shrubs and herbs. The actual soil surface was covered with 5-15 mm of dead pine needles. CORNFORTH (1970) in the West Indies found thart* Pinus caribaea *produced less litter than natural forest but that the pine needles decayed more slowly than deciduous litter. The pine canopy, dense ground vegetation and substantial litter must altogether have a considerable interception and evaporation capacity, and this would further reduce runoff except during prolonged rainfall.*

CONCLUSION

Une enquête préliminaire sur les vitesses d'infiltration à Lakéba a confirmé les indications d'ordre climatique et les observations selon lesquelles l'entraînement de matériaux vers l'aval dû à de fréquents ruissellements sur le sol contribue à maintenir la nature appauvrie du complexe sol-végétation de type talasiga. Sur Lakéba, l'agressivité des pluies vis à vis de l'érosion est souvent accrue par les effets du feu, qui réduisent la protection de surface. La première population humaine

CONCLUSION

A preliminary survey of infiltration rates on Lakeba has confirmed the climatic and observational evidence in suggesting the downslope movement of material by frequent overland flow is an important process in maintaining the impoverished nature of the Talasiga soil-vegetation complex. On Lakeba effective rainfall intensities are often increased and surface protection reduced by the effects of burning. The earliest human population is deduced to have reached the Lau group about 3 500 B.P.

aurait atteint le groupe Lau environ 3.500 ans B.P. (SHUTLER et MARCK, 1975), ce qui est confirmé tant par les travaux du projet sur les sédiments des marécages que par une enquête archéologique (M. BROOKFIELD et S. BEST, communication personnelle). Même durant cette période relativement courte de 3.500 ans, il est très vraisemblable que les activités humaines ont étendu et intensifié le complexe de type talasiga, bien que les études géologiques montrent clairement que le paysage à talasiga remonte beaucoup plus loin. L'étude de l'infiltration tend également à démontrer qu'une reforestation de pins à grande échelle pourrait avoir des effets écologiques et hydrologiques considérables sur Lakéba. Si les résultats obtenus ont quelque signification, on peut dire que l'accroissement de la capacité d'infiltration des sols dû aux plantations de pins réduira grandement le ruissellement en nappes et le ravinement sur les versants et donnera plus de régularité à l'écoulement fluvial, ce qui offre des avantages pour l'approvisionnement en eau et pour l'agriculture. Il apparaît donc justifié, ne serait-ce que du point de vue écologique, de poursuivre les plantations de pins à Lakéba et ailleurs, que l'entreprise soit ou non rentable.

(SHUTLER and MARCK 1975), a date which the project's work on swamp cores and an archaeological survey both confirm (M. BROOKFIELD and S. BEST, pers. comm.). Even in the relatively brief period of 3500 years it seems very likely that man's activities have intensified the Talasiga complex, even though the geological evidence clearly indicates that the ultimate origin of the Talasiga landscape is vastly more ancient.

The infiltration evidence also suggests that large-scale afforestation by pines could have very considerable environmental and hydrological effects on Lakeba. If the results obtained are at all representative, then the enhanced infiltration capacity of the soils produced under pines will greatly reduce sheetwash and gullying on hillsides, and will regulate stream flow more evenly, with possible water supply and agricultural benefits.

G - ORIGINE DE LA FORMATION A TALASIGA

INTRODUCTION

La formation à Talasiga désigne à Fidji un écosystème soumis à des feux réguliers que l'on observe dans les parties les plus sèches de l'archipel. En réalité, le terme de Talasiga s'applique à une catégorie de sol dégradé à laquelle on associe la formation végétale pyrophyte qui la recouvre (TWYFORD et WRIGHT, 1965). Par extension ce terme peut aussi s'appliquer au modelé ondulé formé de collines aux sommets arrondis et de plaines alluviales souvent ensablées sur lesquelles se développe ce milieu. TWYFORD et WRIGHT ont donné une interprétation anthropique très stricte de la formation des « Talasiga soils » : « Talasiga soils... are characterized by certain features never found naturally under Fijian conditions ». Ils ont même insisté sur le caractère irréversible des transformations apparues dans ces sols après déforestation, caractères portant principalement sur l'état de cristallisation des oxydes et hydroxydes de fer, d'aluminium et de titane mais qui auraient aussi atteint la matière organique, les bases échangeables et le pH.

Ces assertions soulèvent un certain nombre de questions.
— Les zones actuellement couvertes par une végétation de Talasiga étaient-elles antérieurement forestées et quand a eu lieu la déforestation ?
— Quelle est la part d'une éventuelle déforestation récente dans la génèse des Talasiga soils et du modelé des zones à Talasiga ?
— Ces caractéristiques sont-elles irréversibles ?

Ce problème ayant un intérêt tout particulier dans le cadre du projet « Man and Biosphère » de l'UNESCO, H.C. BROOKFIELD (1974) en a proposé l'étude dans le projet : « Population and environment in the Eastern islands of Fiji ».

L'île de Lakéba a été retenue comme localisation principale de cette étude en suivant les indications de TWYFORD et WRIGHT « Indeed the island (Lakéba) could be considered a type location for these associations (Talasiga fern and nokonoko : *Casuarina equisetifolia)* ». A titre de comparaison des observations ont été réalisées sur Nairai dans des conditions analogues, sur Viti Levu dans les « Mendrausutu ranges » sur même type de roche mais sous une pluviométrie nettement supérieure et sous couvert principalement forestier et sur Kabara sur sols bauxitiques sous forêt. Dans ce chapitre seront comparées les caractéristiques du milieu sous forêt et sous végétation à Talasiga dans ces différents secteurs.

1 - RELATIONS GEOMORPHOLOGIE - SOL - VEGETATION

Afin de mieux comprendre les relations existant entre la géomorphologie, les sols et la végétation, trois toposéquences ont été étudiées. Deux l'ont été sur Lakéba et une sur Viti Levu. Sur ces toposéquences la morphologie, les sols et la végétation ont été comparés.

G - ORIGIN OF THE TALASIGA FORMATION

INTRODUCTION

In Fiji, the Talasiga formation is a regularly burned ecosystem found in the driest parts of the archipelago. In actual fact, the term « talasiga » designates a degraded type of soil with its associated pyrophytic vegetation cover (TWYFORD and WRIGHT, 1965). By extension, the term can also be applied to the undulating landscape of rounded hills and often silted alluvial plains on which this ecosystem develops. TWYFORD and WRIGHT offer a strictly anthropogenous explanation of the formation, maintaining that « Talasiga soils... are characterized by certain features never found naturally under Fijian conditions. They even insist that the transformations undergone by these soils after forest clearance were irreversible ; these changes chiefly concerned the state of crystallization of the iron, aluminium and titanium oxides and hydroxides but were said to have affected the organic matter, exchangeable bases and pH too.

These claims raise a number of questions :
— Were the areas now under talasiga vegetation previously under forest and, if so, when did deforestation occur ?
— What part could possible recent deforestation play in the formation of talasiga soils and the talasiga landscape ?
— Are the talasiga characteristics irreversible ?

As this problem is particularly relevant to Unesco's « Man and the Biosphere» programme, H.C. BROOKFIELD (1974) proposed that a study should be made as part of the project «Population and Environment in the Eastern Islands of Fiji».

The island of Lakeba was chosen as the main site for this study on the basis of TWYFORD and WRIGHT's remark : « Indeed the island (Lakeba) could be considered a type location for these associations (Talasiga fern and nokonoko : Casuarina equisetifolia*) ». For purposes of comparison, observations were made on Nairai under similar conditions, on Viti Levu in the « Medrausutu range » on the same rock-type but with a distinctly higher rainfall and a predominantly forest cover, and on Kabara on bauxitic soils under forest. This chapter will compare the characteristics of environments under forest and under talasiga.*

1 - THE INTERRELATIONSHIP BETWEEN GEOMORPHOLOGY, SOIL AND VEGETATION

To clarify the relationship between geomorphology, soil, and vegetation, three toposequences, two on Lakeba and one on Viti Levu, were selected for comparison.

1.1 - Description des toposéquences

Toposéquence I (fig. 26)

Cette toposéquence est située dans le Sud-Est de l'île de Lakéba et recoupe la plaine côtière, une colline coiffée par un plateau bauxitique, une large vallée ensablée et une colline érodée. Ce secteur situé en bord de mer, est soumis à un climat équivalent à celui de Tubou avec une pluviométrie moyenne annuelle de près de deux mètres.

On observe successivement :

— en I_1, sur la plaine côtière et sur des eutric fluvisols fertiles, une cocoteraie. Au milieu de cette cocoteraie on peut retrouver des espèces arborées de la forêt originelle comme *Inocarpus fagiferus* et *Melicope robusta* et un grand nombre d'espèces arbustives et herbacées introduites.

— En I_2, à 110 m d'altitude sur le plateau bauxitique, des acric ferralsols. Ces sols moyennement humifères et acides ont une fertilité médiocre. Une fougeraie dense à *Pteridium esculentum* et *Dicranopteris linearis* et à synusie ligneuse abondante s'y développe.

— En I_3, sur pente forte, (50 %), des sols érodés (ferralic cambisols). Ces sols peu humifères et acides sont très infertiles. On peut noter une végétation claire du type fougeraie à *Dicranopteris linearis* et à synusie ligneuse réduite. Des feux récents semblent avoir atteint cette station.

— En I_4, sur une large formation colluvio-alluviale présentant une pente faible (5 %), des chromic luvisols. Ces sols profonds mais peu humifères ont une fertilité médiocre. Dans ce secteur se développe une fougeraie mixte à *Dicranopteris linearis* et à *Miscanthus floridulus* et à synusie ligneuse réduite.

— En I_5, sur la plaine alluviale récente une zone marécageuse dans laquelle on note des humic gleysols assez fertiles. Sur ces sols se développe une végétation hydromorphe à cyperacée, à *Ludwigia octovalvis* et à *Mikania micrantha* dominants.

— En I_6, sur une petite colline à pente moyenne des sols érodés de type ferralic cambisols analogues à ceux observés en I_3. La végétation dans ce secteur est une fourgeraie basse à *Dicranopteris linearis* et à synusie ligneuse réduite. Dans cette strate ligneuse on observe cependant une plus grande densité de *Casuarina equisetifolia* qu'en I_3.

Toposéquence II (fig. 27)

La toposéquence II a été observée dans le centre de l'île de Lakéba à partir de la haute vallée de Tubou. Elle recoupe la colline aux versants abrupts de Kendikendi et un haut plateau central. Ce secteur est probablement soumis à un climat légèrement plus humide que celui de Tubou. On y observe successivement :

— En II_1, dans la plaine alluviale récente, une zone marécageuse dans laquelle se développent des humic gleysols comparables à ceux observés en I_5. Dans ce secteur très densément cultivé en tarodières irriguées, on note une végétation hydromorphe à cyperacées, à *Ludwigia octovalvis* et à *Mikania micrantha,* analogue à celle observées en I_5.

— En II_2, sur pente forte, sous végétation forestière, des sols très peu profonds mais fertiles (humic cambisols). Des cultures dérobées y sont pratiquées.

— En II_3, sur forte pente mais en position d'interfluve, des sols peu profonds, peu humifères : (eutric cambisols). Ces sols sont assez fertiles et couverts d'un fourré à roseaux *(Miscanthus floridulus).*

— En II_4, sur le sommet de la colline de Kendikendi sous forêt des sols peu profonds argileux et humifères (humic cambisols). Sur ces sols fertiles se développe une végétation forestière et par endroits des cultures dérobées.

— En II_5, sur pente moyenne, et sous forêt, des sols assez profonds et humifères, les humic ferralsols. Ces sols fertiles sont couverts par une forêt dense à *Geissoïs ternata.*

1.1 - Description of the toposequences

Toposequence I (Fig. 26)

This toposequence, located in south-east Lakeba, transects the coastal plain, a hill topped by a bauxitic plateau, a broad silted valley and an eroded hill. The area concerned, being on the coast, has a similar climate to Tubou, with a mean annual rainfall of nearly two metres.

One observes, in order :

— At I_1, on the coastal plain and on fertile eutric fluvisols, a coconut grove in the midst of which some tree species of the original forest may be found (Inocarpus fagiferus *and* Melicope robusta *(for example) and a large number of introduced shrub and herbaceous species.*

— At I_2, a bauxitic plateau 110 metres high covered with moderately humiferous and acidic acric ferralsols of below average fertility. Here a dense fern thicket with Pteridium esculentum *and* Dicranopteris linearis *and rich woody synusia has developed.*

— At I_3, a steep slope (50 %) covered with eroded ferralic cambisols, only slightly humiferous and acidic and very infertile. The vegetation is open, of the fern thicket type, with Dicranopteris linearis *and poor woody synusia. There are signs of recent fires.*

— At I_4, chromic luvisols covering a broad colluvio-alluvial formation on a gentle slope (5 %). These deep but only slightly humiferous soils are of below average fertility. The vegetation is a mixed fern thicket with Dicranopteris linearis *and* Miscanthus floridulus *and poor woody synusia.*

— At I_5, the recent alluvial plain contains a swamp with fairly fertile humic gleysols on which a hydromorphic vegetation dominated by Cyperaceae, Ludwigia octovalvis *and* Mikania *micrantha is forming.*

— At I_6, eroded soils of the ferralic cambisol type, similar to those at I_3, cover the medium slopes of a small hill. Here the vegetation is a low fern thicket with Dicranopteris linearis *and poor woody synusia, though the ligneous stratum contains a higher density of* Casuarina equisetifolia *than I_3.*

Toposequence II (Fig. 27)

Toposequence II represents a transect in the centre of Lakeba that starts from the upper Tubou valley. It cuts across the steep pitches of Kendikendi hill and a high central plateau. This area probably has a slightly wetter climate than Tubou. One observes, in order :

— At II_1, a recent alluvial plain containing a swamp in which humic gleysols comparable to those in I_5 have developed. It is intensively cultivated with irrigated taro plots but one notes a hydromorphic vegetation of Cyperaceae, Ludwigia octovalvis *and* Mikania micrantha, *like that in I_5.*

— At II_2, a steep slope with very shallow but fertile soils (humic cambisols) under forest vegetation. Here cash-crops are grown.

— At II_3, shallow and only slightly humiferous eutric cambisols cover a steep slope in an interfluve situation. They are fairly fertile and bear a reed thicket (Miscanthus floridus).

— At II_4, under forest, shallow clay humiferous soils (humic cambisols) cover the top of Kendikendi hill. These fertile soils hold a forest vegetation, with cash-crops here and there.

— At II_5, on a medium slope under forest, fairly deep and humiferous humic ferralsols. These fertile soils are covered by an evergreen forest with Geissois ternata.

— At II_6, on a medium slope and under an open fern vegetation with Dicranopteris linearis *and poor woody synusia, are found deep but only slightly humiferous rhodic ferralsols. Here, within the very open woody synusia, individual* Geissois ternata *may be seen, probably a sign of recent deforestation.*

— Lastly, at II_7, acric ferralsols like those at I_2 cover a bauxitic

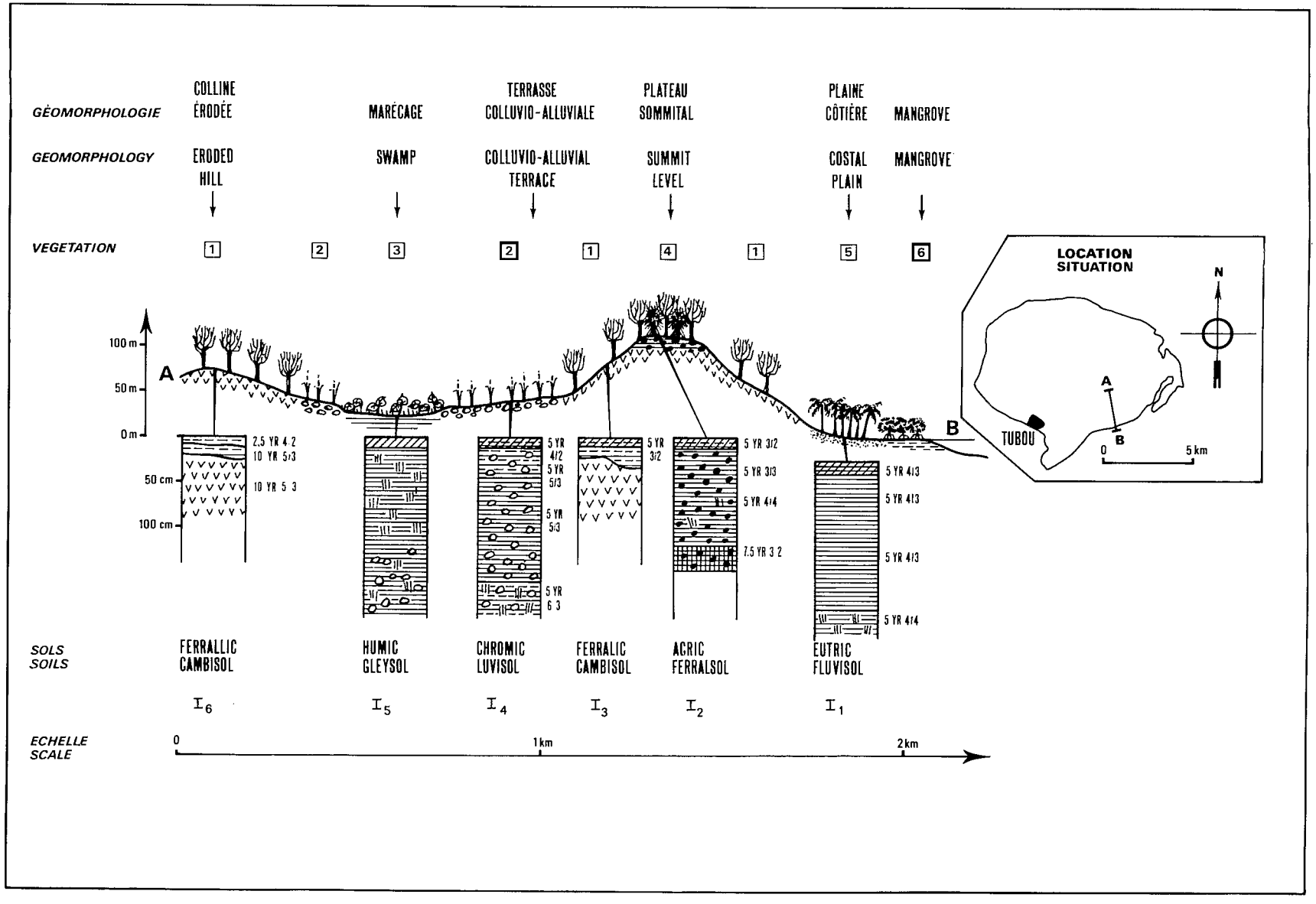


Figure 26 : Lakéba, toposéquence I
Lakeba, toposequence I

1 Végétation à Talasiga/*Talasiga vegetation ;* 2 Fourré mixte/*mixed thicket ;* 3 Végétation hydromorphe/*swampy vegetation*
4 Végétation à Talasiga dense/*dense Talasiga vegetation ;* 5 Cocoteraie/*coconut grove ;* 6 Mangrove

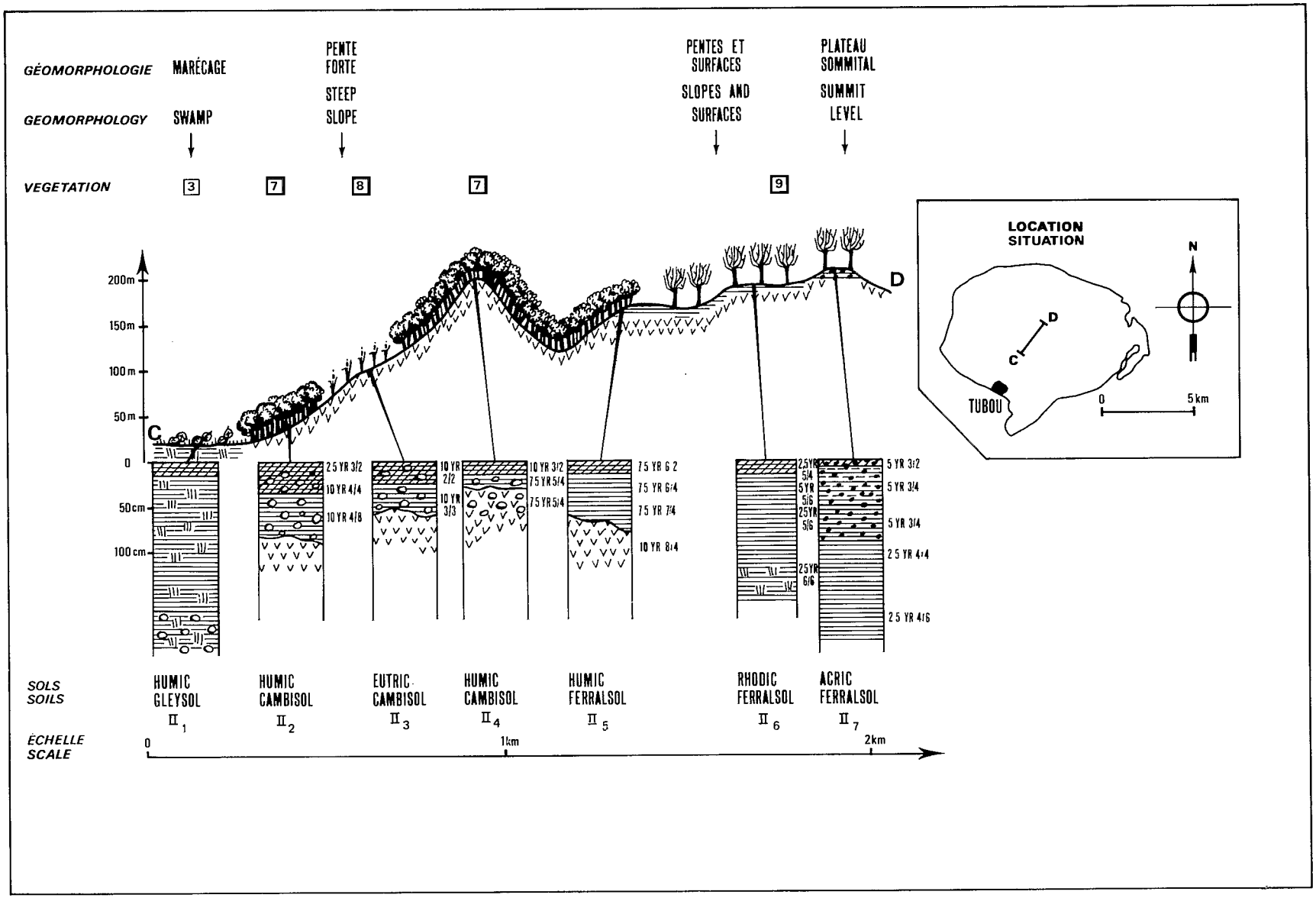


Figure 27 : Lakéba, toposéquence II

3 Végétation hydromorphe/*swampy vegetation ;* 7 Forêt dense/*evergreen forest ;* 8 Fourré à roseaux/*reed thicket ;* 9 Végétation à Talasiga d'altitude/*altitudinal Talasiga vegetation.*

— En II_6, sur pente moyenne et sous une végétation ouverte de type fougeraie à *Dicranopteris linearis* et à synusie ligneuse réduite, des sols profonds peu humifères de type rhodic ferralsols. Au sein de la synusie ligneuse très ouverte on observe toutefois sur cette station des individus de *Geissoïs ternata*, indices probables d'une déforestation récente.
— Enfin, en II_7, sur un plateau bauxitique, des acric ferralsols comparables à ceux observés en I_2. La végétation qui couvre ce plateau est toutefois ouverte et de type fougeraie mixte *Dicranopteris linearis, Pteridium esculentum...* et à synusie ligneuse réduite. Elle est en particulier bien moins dense qu'en I_2.

Toposéquence III (fig. 28)

La toposéquence III a été observée à Vitu Levu sur des andésites comparables en âge et en compositions à celles de Lakéba. Ce secteur accidenté est couvert d'une formation forestière ou de défriches. La pluviométrie moyenne annuelle y est proche de trois mètres. Sur la toposéquence on observe successivement :
— En III_1, sur faible pente, en position de piedmont, des sols profonds peu humifères (Rhodic ferralsols). Ces sols sont acides, assez pauvres en matière organique et relativement peu fertiles. On y pratique des cultures sur brûlis avec de longues rotations. La végétation naturelle, bien qu'assez différente floristiquement des formations à Talasiga s'en rapproche physionomiquement. On observe une fougeraie à synusie ligneuse abondante.
— En III_2 et III_3, sur forte pente (40-80 %) sous forêt, des sols peu profonds humifères (humic cambisols et lithosols) riches parfois en blocs de roche à la surface du sol.
— Enfin en III_4, sur un replat en altitude des sols moyennement profonds de type humic cambisols. Ces sols sont très acides et fortement désaturés en bases. Ils sont couverts d'une forêt dense.

1.2 - Discussion

L'étude de ces toposéquences et l'examen des cartes de Lakéba montrent qu'il existe dans cette région des relations assez étroites entre la géomorphologie, les sols et la végétation. Les relations entre les sols et la géomorphologie sont en particulier très strictes comme cela a été montré dans le paragraphe sol de l'étude de Lakéba. Les liaisons entre sols et végétation sont par contre bien souvent plus laches. L'homme par les défrichements et les feux tend en effet à homogénéiser le couvert végétal vers les formations les plus dégradées.

Les équilibres naturels

Un certain équilibre semble régner entre la végétation et le milieu naturel et principalement le climat, le pédoclimat et le sol.

L'influence du climat et du pedoclimat est particulièrement nette sur la végétation. Nous avons noté des variations dans la composition floristique des végétations à Talasiga d'altitude par rapport aux autres formations à Talasiga de l'île. Ces variations sont probablement liées à des différences pluviométriques. Par ailleurs dans les « Mendrausutu ranges », sur des sols voisins de certains « talasiga soils » mais sous 3000 mm de pluie, la forêt prédomine. Ainsi le climat semble l'un des facteurs premiers de la répartition de la végétation. L'action du climat peut toutefois être modulée par le pédoclimat. Sur Lakéba il faut souligner la localisation des formations forestières dans les secteurs les plus humides de l'île (talweg, plaines alluviales et plaines côtières). Dans ce cas l'humidité du sol est maintenue par des apports de nappe. Mais l'action du pédoclimat est aussi fonction des possibilités de rétention du sol pour l'eau. Sur Lakéba on note

plateau whose open vegetation of the mixed thicket type with Dicranopteris linearis, Pteridium esculentum, *etc. and poor woody synusia. It is, in particular, less dense than at* I_2.

Toposequence III (Fig. 28)

Toposequence III was observed on Viti Levu, on andesites of about the same age and composition as those of Lakeba. This hilly landscape, covered with forest and cleared patches, has a mean annual rainfall of nearly three metres. The toposequence brings out successively :
— At III_1, deep but only slightly humiferous rhodie ferralsols on a gentle incline at the base of the slope. These soils are acidic, rather poor in organic matter and relatively infertile. Patches ares burned and then cultivated, with long intervals. The natural vegetation, though floristically rather different from talasiga formations, is physiognomically similar with a fern thicket and abundant woody synusia.
— III_2 and III_3, shallow humiferous soils (humic cambisols and lithosols) on a steep slope (40-80 %) under forest with occasional slabs of rock on the surface.
— Lastly, at III_4, moderately deep humic cambisols on a high shoulder. The soils, very acidic and highly unsaturated in bases, are under evergreen forest.

1.2 - Discussion

An examination of these toposequences in conjunction with the maps of Lakeba shows that this region's geomorphology, soils and vegetation are quite closely related to each other. The relationship between its geomorphology and soils is particularly direct, as was noted in the section on Lakeba's soils, whereas that between the soils and the vegetation is often looser since man, by burning and clearing the forest, has tended to promote a more uniform plant cover of the most degraded forms.

Natural equilibria

The vegetation appears to have attained a certain equilibrium with the natural environment and in particular with the climate, soil climate and soils.

The climate and soil climate have a particularly clear influence on the vegetation. The floristic composition of the upland talasiga vegetation was found to differ in some respects from other talasiga formations on the island probably because of differences in rainfall. In the « Mendrausutu range », for example, on soils similar to some of the talasiga soils but with 3000 mm of rain, the forest predominates. Climate is thus one of the most important factors in the distribution of vegetation, though its influence may be modified by the soil. Climate : on Lakeba, the forests are located in the wettest parts of the island (thalweg, alluvial and coastal plains) and soil humidity is maintained. But the influence of the soil climate also depends on the soil's capacity to retain moisture. On Lakeba, the height of vegetation is fairly directly related to the soil's water-retention capacity as measured by the formula of HALLAIRE *(1961) (Table 29).*

The chemical characteristics of the soil are of secondary importance in the differentiation of vegetation on these islands. The abundance of Miscanthus floridulus *reeds appears, especially on Lakeba, to be related to the richness in exchangeable cations.*

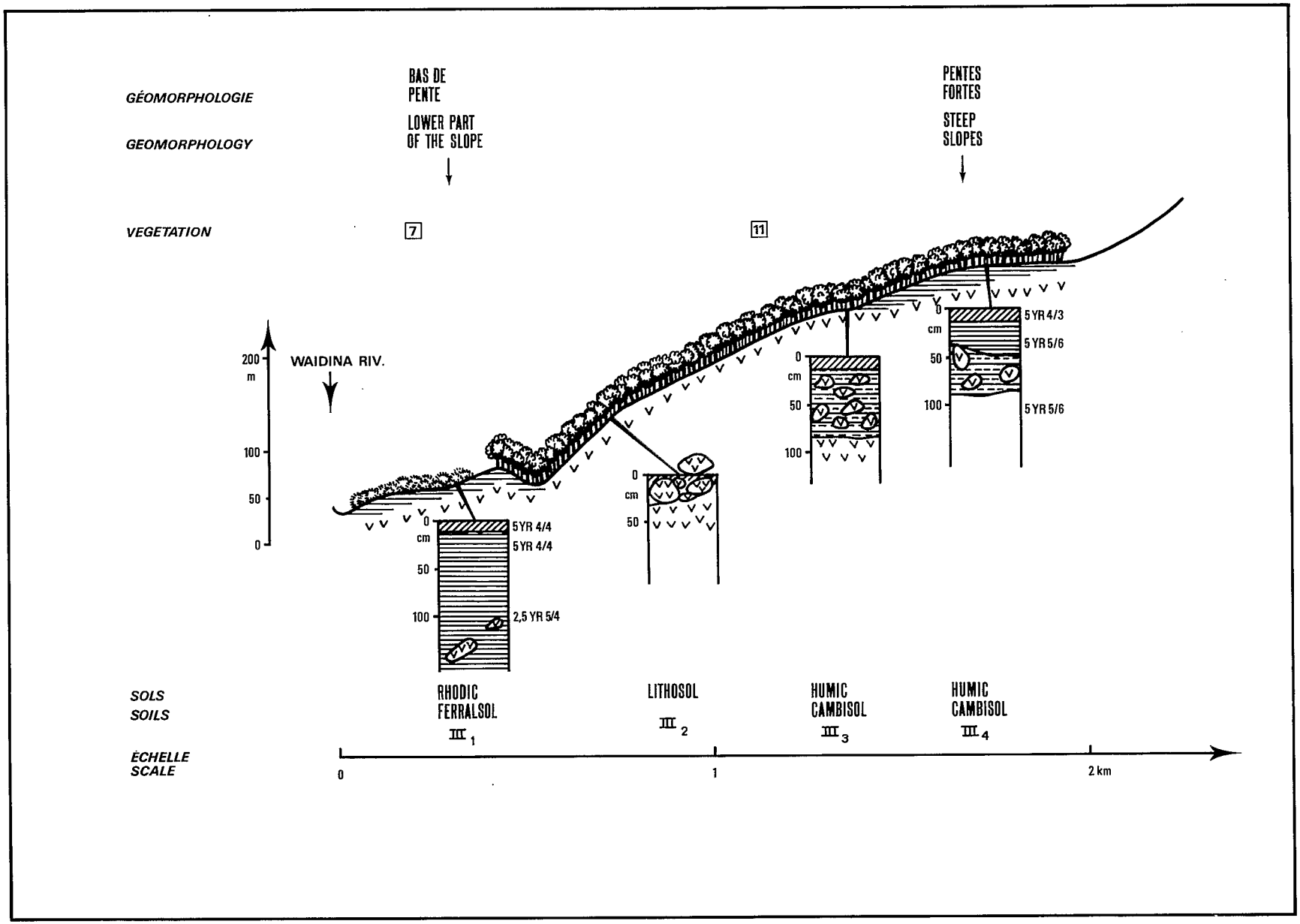


Figure 28 : Mendrausutu range, toposéquence
Mendrausutu range, toposequence

7 Forêt dense/*evergreen forest ;* 11 Fourré dense/*dense thicket*

une relation assez directe entre la capacité de rétention du sol pour l'eau calculée par la formule de HALLAIRE (1961) et à la taille de la végétation (tableau 29).

Tableau 29. — Liaison entre la capacité de rétention pour l'eau des sols et la végétation

Sol	Q*	Végétation
ferralic cambisols	50 - 70 mm	végétation herbacée à forbes basses
acric ferralsols	80 - 95 mm	végétation herbacée à forbes hautes
chromic luvisols	120 mm	végétation herbacée à forbes hautes
eutric cambisols	110 mm	fourré à roseaux
humic cambisols eutric fluvisols	140 - 160 mm	forêt ou cocotier

* Q : réserve hydrique du sol en mm calculée par la formule de HALLAIRE, 1961.

Les caractères chimiques du sol sont aussi un facteur secondaire de différenciation de la végétation dans ces îles. L'abondance de roseaux *Miscanthus floridulus* semble en particulier sur Lakéba liée à la richesse en cations échangeables. De même les fougères *Dicranopteris linearis* et *Pteridium esculentum* se trouvent principalement sur sol acide. Les éléments de fertilité du sol sont souvent très liés à la végétation par l'intermédiaire de la matière organique de l'horizon humifère qui maintient une certaine richesse en éléments nutritifs. Ils n'apparaissent donc pas décisifs dans l'orientation à long terme du couvert végétal. Celle-ci semble en priorité subordonnée au climat et au pédoclimat dans cette région.

L'action de l'homme

Si l'on remarque un certain équilibre édaphique entre la végétation et le milieu, l'homme tend toutefois à homogénéiser l'ensemble du couvert végétal vers les formations les plus dégradées. Trois exemples de disharmonie entre sol et végétation ont en particulier pu être notés sur les transects étudiés. Sur un même type de sol, on observe des végétations nettement plus denses en I_6 qu'en I_3 d'une part et en I_2 qu'en II_7 d'autre part. Enfin en III, on note une végétation physionomiquement voisine des talasigas dans un secteur nettement forestier. Ces différences de densité et d'aspect de la végétation sont uniquement liées à l'action de l'homme par les feux de brousse et les défrichements. Les feux, n'agissent pas chaque année avec la même intensité partout et provoquent ainsi des différences locales de végétation. Les cultures sont par ailleurs installées en III, à proximité d'un village. Leur répétition empêche la réinstallation de la forêt. Ces feux et ces défrichements sont de plus très actifs sur les lisières des massifs forestiers. On retrouve sur Lakéba de nombreux individus de *Geissois ternata* isolés dans des formations herbacées à proximité des lisières forestières (station II_6). La forêt conserve toutefois un dynamisme certain dans les zones les plus humides. Les défrichements suivis de brûlis et de culture effectués en forêt sont rapidement réenvahis par une végétation arborée après abandon des cultures. L'action de l'homme est donc particulièrement active dans les zones instables au point de vue édaphique.

Ainsi un certain équilibre existe entre la végétation et le milieu édaphique : climat, pédoclimat et sol. Cet équilibre est toutefois très souvent repis en cause par les interventions humaines (feux et défrichements). On peut donc se poser la question du sens de la dynamique actuelle de la végétation. La faible surface

Table 29. — Relation between water-retention capacity of soil and vegetation

Type of soil	*Q+*	*Vegetation*
Ferralic Cambisols	50 - 70 mm	*Low forb herbaceous vegetation*
Acric Ferralsols	80 - 95 mm	*Tall forb herbaceous vegetation*
Chromic Luvisols	120 mm	*Tall forb herbaceous vegetation*
Eutric Cambisols	110 mm	*Reed thicket*
Humic Cambisols Eutric Fluvisols	140 - 160 mm	*Forest or coconuts*

Q+ = hydric reserves of soil in mm calculated by means of Hallaire's formula (1961)

Similarly, the ferns Dicranopteris linearis *and* Pteridium esculentum *are found chiefly on acidic soils. The elements on which soil fertility depends are often related to the vegetation by way of the organic matter in the humiferous horizon, which maintains a certain level of nutrients, but do not appear to exert a decisive influence on the long-term nature of vegetal cover which, in this region, depends primarily on the climate and soil climate.*

Human interference

Though there exists a certain edaphic equilibrium between vegetation and environment, man tends to homogenize the plant cover and reduce it to more degraded forms. The toposequences provide three examples of a disequilibrium between soil and vegetation. For the same type of soil, the vegetation was much more dense at I_6 than at I_3, and again at I_2 than at II_7, and in Toposequence III, vegetation physiognomically similar to the talasiga formations was found in a distinctly forest area. These differences in the profusion and appearance of the vegetation are entirely due to human interference through bush fires and clearance. The fact that the fires do not operate everywhere with the same intensity each year accounts for local differences in vegetation. Moreover, the cultivated areas in this transect are located near a village and repeated cropping prevents the return of the forest. Burning and clearance are also actively pursued around the outskirts of the forest patches : many specimens of Geissois ternata *may be seen standing alone among the herbaceous formations near the edge of the forest (II_6). In the wetter zones, the forest maintains a considerable dynamism : the forest is cleared, burned and cultivated but these places are swiftly overgrown by an arboreal vegetation once cropping has ceased. Man's interference is thus particularly active in edaphically unstable areas.*

In short, there exists a certain equilibrium between the vegetation and the edaphic environment of climate, soil climate and soil. But this equilibrium is frequently upset by human interference in the form of fires and forest clearance. This being so, what is the present trend of vegetation ? The small area under forest on Lakeba and the apparent retreat of the forest cover as its outer limits are pushed back argue for gradual degradation, but a new equilibrium between a differentiated pyrophytic vegetation and local environmental conditions seems to be developing, corresponding to what is known as the fire climax.

occupée par la forêt sur Lakéba et l'apparent recul du couvert forestier au niveau des lisières militent pour une dégradation de ce milieu. Un nouvel équilibre semble toutefois s'établir entre une végétation pyrophyte différenciée et les conditions du milieu ; cet équilibre correspondrait au « fire climax » des auteurs anglo-saxons.

2 - ORIGINE DE LA FORMATION VÉGÉTALE A TALASIGA

L'origine anthropique des formations végétales à Talasiga a été avancée par de nombreux auteurs et notamment PARHAM (1972) et TWYFORD et WRIGHT (1965). Il n'est pas question ici de remettre en cause la nature pyrophytique de cette végétation qui s'apparente aux savanes africaines et aux cerrados sud américaines. On peut toutefois se demander si cette végétation résulte d'une brusque déforestation il y a deux ou trois mille ans lors de l'arrivée de l'homme dans la région ou si elle est due à la dégradation d'une formation ouverte liée à des épisodes secs du quaternaire comme cela a été envisagé dans certaines régions africaines.

La composition floristique de cette formation n'est pas très riche ; 53 espèces ont été dénombrées dans les relevés effectués sur Lakéba. Et parmi ces espèces, seules 19 pourraient être attribuées plus ou moins spécifiquement à la formation à Talasiga ; c'est à dire qu'elles ne sont ni d'introduction récente, ni présentes dans les relevés effectués dans les autres formations végétales de Lakéba (annexe n° 4). Ceci ne signifie pas toutefois que leur origine soit liée à la formation à Talasiga. Pour certaines d'entre elles, il s'agit d'espèces que l'on peut trouver très exceptionnellement en forêt *(Cerbera manghas, Dodonea viscosa),* dans les zones marécageuses *(Polygala paniculata)* ou en bord de mer *(Casuarina equisetifolia, Wickstroemia foetida).*

Tableau 30. — Répartition par origine des espèces observées dans les formations à Talasiga à Lakéba

Formation végétale (cf. carte de végétation)	7	8	9	10	Ensemble
Espèces indigènes non ou peu représentées par ailleurs	16	9	10	12	19
Espèces indigènes représentées par ailleurs	13	6	8	7	18
Espèces introduites ou cultivées	13	8	6	6	16
Total des espèces	42	23	24	25	53

Ces espèces qui ne peuvent normalement se développer du fait de la concurrence, trouvent dans le milieu ouvert de la formation à Talasiga, un excellent lieu de multiplication. D'autres enfin, seraient des espèces pantropicales que l'on rencontre dans toutes les zones de vide végétal *(Dicranopteris linearis, Pteridium esculentum).*

Par sa composition floristique cette formation est donc typique d'une végétation secondaire qui s'est installée et qui se maintient grâce aux feux. Cette végétation est cependant relativement variée et originale par rapport au milieu environnant, ce qui permet de supposer une implantation relativement

2 - ORIGIN OF THE TALASIGA FORMATIONS

Many authors, and particularly PARHAM (1972) and TWYFORD and WRIGHT (1965) have asserted the anthropogenous origin of the talasiga formations. Here, there is no question of denying the pyrophytic nature of this vegetation, which bears some resemblance to the African savanna and the South American cerrado. It is worth asking, however, whether this vegetation is a consequence of sudden deforestation some two or three thousands years ago when man arrived in the region or whether as has been suggested for certain regions in Africa, or is due to the degradation of an open formation caused by dry periods during the Quarternary.

The floristic composition of the talasiga is not very varied: 53 species have been identified on Lakeba, only 19 of which could be more or less specifically attributed to the talasiga formation in that they were neither of recent introduction nor present among the species discovered in other vegetal formations on the island (Annex 4). But this does not imply that these plants owe their origin to the talasiga. Some of them are species found on very rare occasions in the forest (Cerbera manghas, Dodonea viscosa), *in the swamps* (Polygala paniculata) *or on the coast* (Casuarina equisetifolia, Wickstroemia foetida).

Table 30. — Distribution of species found in the Talasiga formations of Lakeba, by origin

Vegatation type (cp. vegetation map)	*7*	*8*	*9*	*10*	*Total*
Indigenous species hardly or not at all found else where	16	9	10	12	19
Indigenous species found elsewhere	13	6	8	7	18
Introduced or cultivated species	13	8	6	6	16
No. of species identified	42	23	24	25	53

These species, which competition would normally prevent from developing, find the open talasiga landscape ideal for reproduction. Others are pantropical species found in all barren zones (Dicranopteris linearis, Pteridium esculentum).

The floristic composition of the talasiga shows it to be a typical case of secondary growth which took root and maintains its hold thanks to firing. Nevertheless this vegetation, being relatively varied and unusual in comparison with the surrounding environment, may be considered of relatively ancient origin. When man actually arrived in Lau, and on Lakeba in particular, is the subject of current archaeological research being carried out by the University of Auckland. The dates of

ancienne. Le problème de l'arrivée de l'homme dans les Lau et en particulier à Lakéba fait actuellement l'objet de travaux archéologiques de la part de l'Université d'Auckland. Les dates des premières implantations dans cette région, comme dans de nombreux secteurs du Pacifique Sud-Ouest sont actuellement en complète révision. Il serait question de 6000 ans en Papouasie Nouvelle Guinée (GOLSON, 1976) et de 3500 ans en Nouvelle-Calédonie (FRIMIGACCI, 1976). Dans les Lau et à Lakéba les derniers travaux situeraient l'arrivée de l'homme à 3500 ans (S. BEST, communication personnelle). Cette période relativement longue semble tout-à-fait suffisante pour permettre la diversification et la différenciation de la végétation actuelle des zones à Talasiga.

Il apparaît toutefois difficile de préciser le type de végétation qui a précédé l'arrivée de l'homme. L'étude palynologique de J. FLENLEY et J. GUPPY, mentionnée dans le chapître sur la sédimentation dans les marécages, n'a en effet donné que des résultats décevants vu la mauvaise conservation des pollens et des spores de fougères. De plus elle ne permet pas de remonter au-delà de 2000 BP, c'est-à-dire pendant la période d'occupation de l'île par l'homme. Par contre, l'étude sédimentologique du marais de Nabuni a montré la présence de particules carbonisées en quantité notable dans des niveaux qui prédateraient l'arrivée de l'homme sur l'île. Il faut donc envisager que des feux ont pu se produire occasionnellement à cette époque et que la végétation était peut-être déjà en partie dégradée au moment de cette arrivée.

the first settlements in the region, as in many parts of the south-west Pacific, are being completely reviewed. GOLSON (1976) sees human activity as dating back 6000 years for Papua-New Guinea and FRIMIGACCI (1976) surmises 3500 years for New Caledonia. As for Lau and Lakeba, the latest research has the first settlements being established some 3500 years ago (S. BEST, personal communication). This relatively long period seems quite enough to account for the diversity and differentiation of the present-day vegetation in talasiga areas.

The vegetation prior to man's arrival, however, is difficult to ascertain. The results of the palynological study of J. FLENLEY and J. GUPPY, mentioned in the chapter on sedimentation in the swamps, were disappointing because the pollens and fern spores had not been well preserved. Moreover, it does not allow us to work back beyond 2000 BP, a time when the island was already settled by man. The sedimentological study of the Nabuni swamp, on the other hand, revealed the presence of carbonized particles in considerable numbers at levels that would pre-date man's arrival on the island. We must therefore assume that occasional fires could have occurred at that time and that the vegetation was already partially degraded when man arrived.

3 - EVOLUTION DES SOLS A TALASIGA

La dégradation des sols sous l'influence humaine a été envisagée par TWYFORD et WRIGHT tant en ce qui concerne leur fertilité que l'évolution de leurs éléments constituants. Ces auteurs parlent même d'évolution irréversible liée à la déforestation. A ces caractères internes du sol, il faudrait rajouter sa dégradation par érosion superficielle, le caractère de troncature de la plupart des sols à Talasiga étant particulièrement caractéristique.

Une comparaison des caractères de fertilité des sols sous forêt et sous végétation à Talasiga a été entreprise sur les profils analysés à Lakéba et à Viti Levu (tableau 31). Cette comparaison montre tout d'abord la grande hétérogénéité dans les sols sous ces deux types de couvert végétal, ce qui exclut tout traitement statistique. On note toutefois un certain nombre de différences dans les caractéristiques de ces profils en fonction de la végétation dans les horizons A. Ces différences portent sur des teneurs en matière organique, en azote et en bases échangeables et sur l'activité biologique, ces éléments étant supérieurs sous forêt que sous Talasiga. Les rapports C/N sont par contre plus élevés sous Talasiga indiquant une mauvaise minéralisation de carbone et la présence dans le sol de particules carbonisées. Dans l'horizon B par contre aucune différence ne peut être mise en évidence. Ces différences dans le caractère de fertilité semblent donc étroitement liées aux teneurs en matière organique et donc au couvert végétal actuel.

TWYFORD et WRIGHT citant des études minéralogiques effectuées par FIELDES indiquent « some evidence for collapse of colloïd in formation of Talasiga » et en particulier des teneurs inférieures en metahalloysite. Ces auteurs mentionnent aussi la formation des gravillons ferrugineux et de carapace. Dans les sols de Lakéba on peut observer de petites quantités de gravillons ferromanganesifères et localement la présence en profondeur de cuirasses manganesifères dans les sols bauxi-

3 - EVOLUTION OF THE TALASIGA SOILS

TWYFORD and WRIGHT considered that the fertility of these soils as well as the evolution of their constituent elements had been degraded as a result of human interference. They even claimed that the trend set in motion by deforestation was irreversible. To these changes within the soil we must add its degradation through erosion of the surface since a striking characterictic of most talasiga soils is their truncated appearance.

The soil profiles analysed at Lakeba and Viti Levu were used to compare aspects of their fertility under forest and under talasiga vegetation (Table 31). The first thing comparison brings out is that the soils are very heterogeneous under both types of vegetation; this rules out a statistical approach. Some vegetation-linked differences, however, were observed in the A horizon characteristics of these profiles : the amounts of organic matter, nitrogen and exchangeable bases, and the level of biological activity, were all higher under forest than under talasiga. The C/N ratios, on the other hand, were higher under talasiga, indicating poor mineralization of carbon and the presence in these soils of carbonized particles. By contrast, the B horizon showed no differences at all. Disparities in the nature of the soils fertility thus appear to be closely bound up with the amount of organic matter and hence with the present vegetal cover.

TWYFORD and WRIGHT, referring to the mineralogical studies of Fieldes, found « some evidence for collapse of colloïd in formation of talasiga » and, in particular, smaller quantities of metahaleoysite. They also mention the formation of ferruginous gravels and hardpan. One can in fact find small quantities of ferromanganiferous gravels in Lakeba's soils and in places, deep down, manganiferous hardpan in the bauxitic soils; but these elements are not found in the other types of talasiga soils, which makes it difficult to put them down to recent deforesta-

Tableau 31. — Intervalle de variation des caractéristiques physico-chimiques des sols en A et B sous végétation à Talassiga et sous forêt (LAKEBA, VITI LEVU)

Type de végétation	Talasiga		Forêt	
Horizon	A	B	A	B
Argile %	10 - 50	25 - 80	10 - 70	30 - 70
C %	2,5 - 3,	—	4,3-13	—
N %	0,14- 0,18	—	0,3- 0,8	—
C/N	18 -20	—	11 -13,5	—
pH	4,9- 5,3	4,5 - 5,5	4,5- 6,5	4,4 - 6,0
Ca^{++} en mé/100g	2,2- 2,5	0,1 - 2,5	2,3-20	0,16-12,2
Mg^{++} en mé/100g	2,3- 7,3	0,1 -19,7	3 -11	0,5 -12,9
K^{+} en mé/100g	0,3- 0,5	0,01- 0,2	0,2- 0,8	0,03- 0,2
Na^{+} en mé/100g	0,2- 0,3	0,03- 0,13	0,2- 1,3	0,2 - 0,6
CEC en mé/100g	30,7-10,1	0,01-26,6	20 -27	7,8 -10,6
P_2O_5 total %	0,14-0,21	0,10-0,13	0,13- 0,3	0,05-0,25
Activité biologique $CO_2/m^2/h$	18-60		140-	

tiques. Ces éléments ne se retrouvent pas toutefois dans les autres types de Talasiga soils et peuvent ainsi difficilement être imputés à une déforestation récente. On ne note pas par contre d'induration de type pain d'épice qui pourrait être lié à un changement brutal de végétation. On peut toutefois remarquer à la surface des ferralic cambisols des pseudo-concrétions très tendres qui correspondent probablement à une pectisation des argiles sous l'effet des feux répétés. Une étude de la cristallisation du fer et de l'alumine en suivant la méthode des extractions successives à HCl 8 N (SEGALEN, 1968) a été entreprise. Les résultats enregistrés sur six profils sous forêt et sous végétation à Talasiga ont été reportés sur la figure 29. Ces chiffres sont difficilement comparables vu l'hétérogénéité des sols et la précision de la méthode. On peut toutefois remarquer une légère augmentation de la cristallisation dans les horizons A des profils LK 12 et LS 11 sous végétation à Talasiga, ce qui n'apparaît pas dans les profils sous forêt. Cette légère augmentation est peut-être liée au pseudo-concrétionnement mentionné ci-dessus. Mais elle reste très faible.

L'effet de la déforestation semble donc peu marqué sur la cristallisation des sesquioxydes métalliques et sur l'induration.

L'effet sur les argiles est tout aussi réduit. Il y a en effet des sols présentant des teneurs en phyllite plus élevées que d'autres (tableau 32). Mais ces variations sont plus liées à la génèse ou à la mise en place des sols qu'à une évolution récente, comme cela a pu être mis en évidence dans l'étude des sols de Lakéba.

Sur Lakéba parmi les rhodic et humic ferralsols on note des sols plus rouges et riches en hématite sous Talasiga et des sols plus bruns et riches en goethite sous forêt mais il est difficile d'attribuer la présence ou l'absence de l'hématite au couvert végétal actuel, cette différenciation n'affectant pas seulement les horizons mais l'ensemble du profil. L'effet de la déforestation sur la nature minéralogique et cristallochimique des sols apparaît donc peu marquée sinon indémontrable par les méthodes utilisées.

L'érosion superficielle est par contre une conséquence beaucoup plus importante de la déforestation, en particulier en ce qui concerne les sols de pente. Des taux d'érosion actuels de 4

tion. On the other hand, one does not find any « gingerbread » hardpan which could have been produced by hardpan which could have been produced by a sudden change of vegetation. However, very soft pseudo-concretations may be seen on the surface of ferralic cambisols, probably due to the pectization of clays as a result of repeated fires. A study of iron an alumina crystallization has been undertaken, using the method of successive extractions by means of HCI 8 N (SEGALEN 1968). The findings for six profiles under forest and under talasiga vegetation appear in Fig. 29. The figures are hard to compare because the soils are heterogeneous and the method precise, but one notes a slight increase in crystallization in the A horizons of profiles LK 12 and LS 11 under talasiga vegetation which does not appear for the profiles under forest. This increase may be connected with the formation of the pseudo-concretions mentioned above, but it is very slight.

Thus deforestation seems to have had only a very limited impact on the crystallization of the metal sesquioxides and on induration.

The effect on the clays is just as limited : certain soils contain more phyllite than others (Table 32), but the variations owe more to the origin or formation of the soils than to their recent evolution, as the study on Lakeba's soils brought out.

Table 31 : — Range of physico-chemical characteristics of the A and B horizons of soils under talasiga and forest (LAKEBA an VITI LEVU)

Type of vegetation	*Talasiga*		*Forest*	
Horizon	*A*	*B*	*A*	*B*
Clay %	10 - 50	25 - 80	10 - 70	30 - 70
C %	2,5 - 3	—	4,3-13	—
N %	0,14- 0,18	—	0,3- 0,8	—
C/N	18 -20	—	11 -13,5	—
pH	4,9- 5,3	4,5 - 5,5	4,5- 6,5	4,4 - 6,0
Ca ++ in me/100g	2,2- 2,5	0,1 - 2,5	2,3-20	0,16-12,2
Mg ++ in me/100 g	2,3- 7,3	0,1 -19,7	3 -11	0,5 -12,9
K + in me/100 g	0,3- 0,5	0,01- 0,2	0,2- 0,8	0,03- 0,2
Na + in me/100 g	0,2- 0,3	0,03- 0,13	0,2- 1,3	0,2 - 0,6
CEC in me/100 g	30,7-10,1	0,01-26,6	20 -27	7,8 -10,6
Total P_2O_5 %	0,14-0,21	0,10-0,13	0,13-0,3	0,05-025
Biological activity in CO_2/m2/hour	18 - 60		140 -	

Among Lakeba's rhodic and humic ferralsols, one finds soils that are redder and rich in haematite under talasiga and soils that are browner and rich in goethite under forest, but it is difficult to attribute the presence or absence of haematite to the present vegetal cover as this differentiation does not affect the A horizon alone but the entire profile. Thus the impact of deforestation on the mineral and crystallochemical composition of the soils appears to be slight, or impossible to prove by the methods employed.

A much more important consequence of deforestation is erosion of the surface, particularly of the slopes. Present-day erosion rates of 4 to 10 cm/1000 years have been calculated for

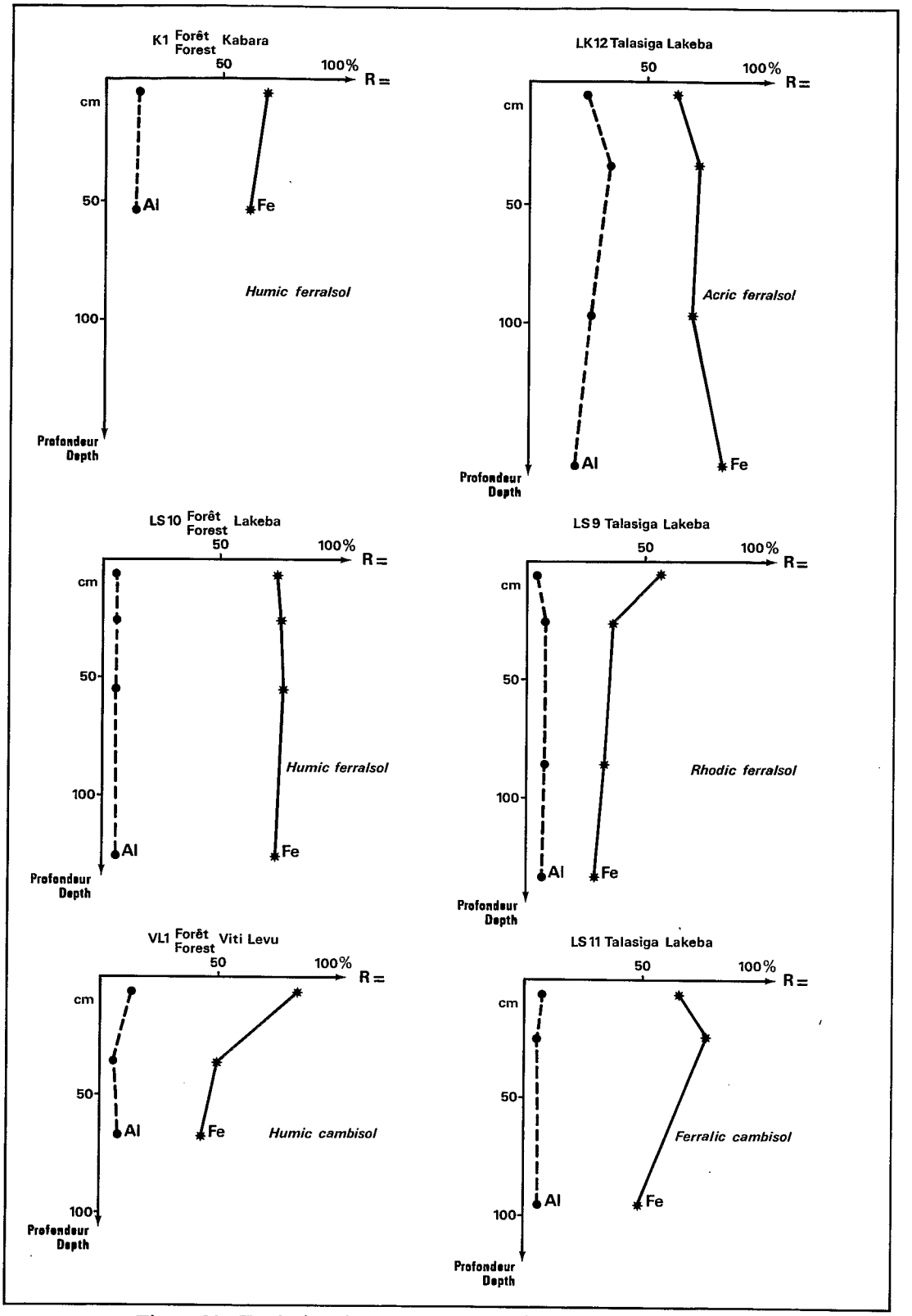


Figure 29 : Evolution des rapports $\frac{\text{sesquioxydes mal cristallisés}}{\text{sesquioxydes totaux}}$

Evolution of the ratio $\frac{\textit{poorly cristallized sesquioxydes}}{\textit{total sesquioxydes}}$

Tableau 32. — Composition minéralogique des horizons A des sols observés sous forêt et sous végétation à Talasiga

Type de sol	Acric ferralsols		Humic et rhodic ferralsols		Ferralic et humic cambisols	
Type de végétation	Forêt (Kabara)	Talasiga (Lakéba)	Forêt (Lakéba)	Talasiga (Lakéba)	Forêt (Viti Levu)	Talasiga (Lakéba)
Gibbsite	+ + + +	+ + + +	+ +	+ +	+ + + +	+
Boehmite	+ +	+ + +				
Goethite	+	+ +	+ + +	+ +	+ +	+
Hématite	+ + +	+ + +		+ +	+ + +	+ +
Magnétite			+ + +	+ +	+ + +	+ +
Metahalloysite					+ + +	
Fire clay			+ + +	+ + +		+ + +
Produits amorphes	+ +	+	+	+	+ +	+ +

+ + + + abondant, III assez abondant, + + un peu, + traces.

Table 32. — Mineral composition of A horizons of soils under forest and Talasiga

Type of soil	*Acric Ferralsols*		*Humic & Rhodic Ferralsols*		*Ferralic & Humic Cambisols*	
Type of vegetation	*Forest (Kabara)*	*Talasiga (Lakeba)*	*Forest (Lakeba)*	*Talasiga (Lakeba)*	*Forest (Viti Levu)*	*Talasiga (Lakeba)*
Gibbsite	+ + + +	+ + + +	+ +	+ +	+ + + +	+
Boehmite	+ +	+ + +				
Goethite	+	+ +	+ + +	+ +	+ +	+
Haematite	+ + +	+ + +		+ +	+ + +	+ +
Magnetite			+ + +	+ +	+ + +	+ +
Metahalloysite					+ + +	
Fire clay			+ + +	+ + +		+ + +
Amorphous products	+ +	+	+	+	+ +	+ +

+ + + + very abundant; + + + abundant; + + some; + trace

à 10 cm/1000 ans ont été calculés pour les trois bassins versants étudiés au chapitre E. Ces taux d'érosion auraient toutefois pu atteindre des valeurs de 173 cm/1000 ans à certaines périodes, probablement d'intense activité agricole, sur le bassin versant de Waitabu. Il faut souligner que ce bassin versant qui aurait ainsi été soumis à une érosion très intense liée à des défrichements, se trouve actuellement presque entièrement sous végétation forestière. L'érosion sur les bassins versants couverts d'une végétation à Talasiga (Nabuni, Levuka) semble par contre n'avoir jamais atteint le caractère catastrophique de celle du bassin versant de Waitabu au cours des trois mille dernières années. Il semble donc que le caractère dégradé des sols à Talasiga soit plus lié à des caractères pédologiques hérités qu'à une déforestation relativement récente.

the three catchments examined in Chapter E. Indeed, in the Waitabu catchment, the rate might have been as much as 173 173 cm/1000 years at certain periods, probably of intense agriculture activity. It should be emphasized that this catchment, which would therefore have been very seriously eroded as a result of clearance operations, is now almost entirely under a forest vegetation. Erosion from talasiga-covered catchments (Nabuni, Levuka) seems never to have attained the catastrophic proportions of the Waitabu catchment over the last three thousand years. In consequence, the degraded state of the talasiga soils appears to owe more to inherited pedological characteristics than to a relatively recent deforestation.

4 - EVOLUTION GEOMORPHOLOGIQUE

On peut se demander quelle est la part des processus récents dans la formation du modelé actuel. Dans l'étude géomorphologique de Lakéba, un schéma de l'histoire du façonnement de l'île a été envisagé à partir d'observations de terrain. Ce schéma réduit l'influence de la morphogénèse récente à un processus d'érosion en nappe sur les pentes, de colluvionnement en bas de pente et de sédimentation dans la plaine alluviale actuelle et dans les zones marécageuses. Les observations de BAYLISS-SMITH sur le ruissellement et de LATHAM, HUGHES, HOPE et BROOKFIELD sur la sédimentation dans les zones marécageuses permettent de mieux évaluer la morphogénèse actuelle et de séparer ainsi les héritages, des actions récentes.

Les observations sur ces marécages confirment l'influence modérée de la morphogénèse actuelle sur le relief. Même si celle-ci a pu être plus importante que maintenant au moment de l'arrivée de l'homme sur l'île et de l'extension des feux, elle ne peut en aucune manière expliquer le caractère tronqué de certains « Talasiga soils » et l'importance des colluvio-alluvions dans les vallées. Les observations dans les marécages de Nabuni et de Levuka sont très claires à ce sujet. Environ 250 cm de sédiments se sont déposés dans ces marais au cours des 3000 dernières années. Ces dépôts correspondent à un arrachement de 20 à 30 cm de sol sur les bassins versants. Ce qui ne représente qu'une faible partie de la quantité de terre enlevée à ces profils de sols ferrallitiques. Il n'est d'ailleurs qu'à comparer l'extension de ces dépôts marécageux à celle des colluvio-

4 - GEOMORPHOLOGICAL EVOLUTION

It is worth asking what part recent processes have played in the formation of the present landscape. The geomorphological study of Lakeba proposed an outline history of the island's formation based on observation of the landforms. This scheme reduces the influence of recent morphogenesis to gradual sheet erosion from the slopes, the deposition of colluvium at the bottom of the slopes and sedimentation in the present alluvial plain and swamps. Runoff measurements by BAYLISS-SMITH and the data on sedimentation in the swamps gathered by LATHAM, HUGHES, HOPE and BROOKFIELD give a more accurate picture of current morphogenesis and make it possible to distinguish residual landforms from recent evolution.

The data on the swamps lend support to the view that current morphogenesis has had a moderate influence on the landscape. Even if this influence was greater at the time of man's arrival on the island, and of the more widespread occurrence of fires, than it is now, it could in no way explain the truncated nature of certain talasiga soils or the size of colluvio-alluvial deposits in the valleys. On this, the data from the Nabuni and Levuka swamps are clear : about 250 cm of sediments were deposited in these swamps during the last 3000 years, equivalent to the removal of 20-30 cm of soil from their catchments. Yet this is but a fraction of the material taken from these profiles of ferrallitic soils. Indeed, one has only to compare the area of these swamp deposits with that of the colluvio-alluvial ones : in the valley with the airstrip, for

alluvions. Dans la vallée de l'aérodrome, par exemple, ces colluvio-alluvions couvrent près du tiers du bassin versant. Le fossé qui s'est créé à la suite du drainage effectué pour la construction de cet aérodrome a creusé sur 5 à 6 mètres dans ces colluvions. Ceci représente donc au minimum un arrachement de 2 m sur les sols du bassin versant. Il semble donc que si l'extension des feux liés à la présence de l'homme permet une poursuite de la morphogénèse érosive sur Lakéba, elle ne fait que continuer un processus qui avait été amorcé bien longtemps avant.

CONCLUSION

La génèse de la formation à Talasiga ne semble donc pas aussi simple que cela avait pu être envisagé précédemment.

— Le caractère pyrophytique de la végétation est indubitable et il faut probablement attribuer l'extension de cette formation à l'homme par l'intermédiaire de feux répétés. Mais il apparaît difficile de préciser le type de végétation qui a précédé l'arrivée de l'homme. Il semble toutefois que les feux aient joué un rôle dans la dynamique de cette végétation.

— L'effet de cette végétation ouverte sur les sols est indéniable au niveau de sa fertilité et de l'érosion superficielle. Les traces d'évolution des argiles et des sesquioxydes sous l'effet de la déforestation apparaissent relativement faibles contrairement à ce qui avait pu être avancé précédemment.

— Enfin si l'effet de cette végétation ouverte favorise l'érosion superficielle, elle ne semble pas suffisante pour expliquer l'aspect tronqué des sols des collines et les apports de sédiments importants notés dans les vallées.

L'homme paraît donc entretenir et même parfois favoriser l'extension de la formation végétale à Talasiga. Il ne semble par contre pas responsable des grands traits de la morphogénèse et de la pédogénèse sur cette île. De plus il sera montré qu'au moins au niveau de la fertilité des sols, une régénération est possible après arrêt du feu et reforestation.

example, the colluvio-alluvial deposits cover nearly a third of the catchment and the drainage ditch dug when the airstrip was built has gouged five or six metres into these colluvial deposits. Such depth is equivalent to at least two metres of soil removed from the catchment. It therefore seems that even though more widespread fires due to man's activities facilitated the continuation of erosive morphogenesis on lakeba, they merely carried on a process that had begun long before.

CONCLUSION

The origin of the talasiga formation does not, therefore seem as straighforward as was thought hitherto.

— The pyrophytic nature of the vegetation is beyond doubt and we should probably attribute the extension of this formation to man's responsibility for repeated fires. But it is difficult to ascertain the type of vegetation prior to man's arrival, though fires appear to have played some part in its dynamics.

— This open vegetation has had an undeniable impact on soil fertility and surface erosion. The signs of evolution of the clays and sesquioxides as a result of deforestation are, contrary to previous contentions, relatively faint.

— Thirdly, though such open vegetation facilitates the erosion of topsoil, it does not seem enough to account for the truncated aspect of the hill soils and the large quantities of eroded sediments found in the valleys.

In short, man appears to have sustained and at times encouraged the extension of talasiga formations but he does not appear to be responsible for the broad traits of morphogenesis and pedogenesis on the island. Moreover, it will be shown that soil fertility at least can be renewed by fire prevention and reafforestation.

H - Evolution des caractéristiques du milieu après reforestation des zones à Talasiga

L'extension des plantations de *Pinus caribaea* sur Viti Levu et sur les petites îles de l'archipel (UNESCO 1977) pose le problème de l'évolution du milieu sous ces plantations. Il est classique en effet de considérer que les résineux ont un effet dégradant sur l'environnement. DUCHAUFOUR (1948) a décrit en détail le processus devenu classique de dégradation de la chênaie atlantique à la suite du remplacement des chênes par les pins. En milieu tropical JAMET (1975) a constaté à Loudima (Congo), un appauvrissement des sols après plantation de diverses espèces de pins dans des savanes herbeuses. Cet appauvrissement du sol serait marqué par une décroissance des teneurs en matière organique sous plantation par rapport à la savane environnante. On noterait par ailleurs, à partir des horizons superficiels, une acidification du sol accompagnée d'une désaturation du complexe absorbant. CORNFORTH (1970) arrive à des résultats similaires à Trinitad sur des reforestations en *Pinus caribaea* après défrichement d'une forêt naturelle. On peut donc se poser des questions sur l'effet des plantations de pins sur les zones à Talasiga. Une étude a été entreprise pour tenter d'évaluer l'évolution du milieu tant à Lakéba où ces plantations ont une grande extension qu'à Viti Levu. Elle a permis d'examiner les caractéristiques physiques, chimiques, et biologiques du sol ainsi que la composition de la végétation naturelle.

1 - MÉTHODOLOGIE

Cette étude a été menée en comparant des couples, plantation de pins - zones à Talasiga, situés dans des conditions écologiques équivalentes. Les plantations testées avaient des âges compris entre 5 et 15 ans. Quatre couples ont été étudiés sur Viti Levu et quatre sur Lakéba.

Sur les sols une description de profil a chaque fois été effectuée et l'on a réalisé les analyses suivantes :

— densité apparente et porosité
— instabilité structurale (méthode HÉNIN et al., 1969)
— rétention pour l'eau mesurée par la différence entre les pF 3 (capacité au champ présumée) et 4,2 (point de flétrissement)
— matière organique, carbone et azote
— pH et éléments échangeables
— réserves en phosphore.

Enfin une mesure de l'activité biologique a été effectuée suivant la méthode mise au point par BACHELIER (1968). Les échantillons pour analyse ont été prélevés à trois niveaux correspondant grossièrement aux horizons A_1, A_3, et (B) C ou B_2 : 0-10 cm, 10-20 cm et 40-50 cm. La litière a été soigneusement enlevée avant le prélèvement de l'horizon A_1.

L'exploitation statistique de cette étude a été rendu possible par la relative homogénéité des sols sur lesquels sont effectuées les plantations et surtout par l'équivalence des sols au niveau des couples. La distribution des résultats analytiques concernant les sols et les roches n'est toutefois généralement pas

H - Evolution of the environment after the reafforestation of Talasiga areas

The extension of Pinus caribaea *plantations on Viti Levu and the smaller islands of Fiji (Unesco 1977) raises the question of their impact on the environment, since conifers are generally thought to cause degradation. DUCHAFOUR (1948) described in detail the now classic process whereby the atlantic oak forests were degraded when they were replaced with pine. In the tropics, JAMET (1975) noted at Loudima (Congo) that soils became poorer after the planting of various species of pine in herbaceous savanna areas : their degradation was characterized by lower proportions of organic matter in the planted zones than in the surrounding savanna and the soil. Moreover, from the upper horizons downward, soils became more acidic and the absorbant complex less saturated. CORNFORTH (1970) came up with similar findings in Trinidad for* Pinus caribaea *plantations following clearance of a natural forest. It is therefore worth investigating the effects of planting pines in talasiga areas. A study was made in an attempt to assess environmental changes on Lakeba, where there has been a lot of planting, and on Viti Levu. It examined the physical, chemical and biological characteristics of the soil and the composition of the natural vegetation.*

1 - METHODOLOGY

The study was based on the comparison of paired sites — pine plantations and talasiga areas — under equivalent ecological conditions. The plantations tested were between 5 and 15 years old ; four pairs on Viti Levu and four on Lakeba were studied.

In each case, the soil profile was described and the following analyses carried out :

— bulk density and porosity
— structural instability (method of HENIN et al. 1969)
— water-retention capacity as measured by the difference between pF 3 (field capacity) and pF 4.2 (wilting point)
— organic matter, carbon and nitrogen
— pH and exchangeable bases
— phosphorus reserves.

Biological activity was also measured using the method developed by BACHELIER (1968). The samples for analysis were taken from three depths, roughly equivalent to horizons A1, A3 and (B)C or B2 : 0-10 cm, 10-20 cm and 40-50 cm. Ground litter was carefully removed before samples from the A1 horizon were taken.

The relatively homogeneous nature of the soils on which the pines had been planted, and above all the comparability of the soils on the paired sites, made statistical treatment possible. However, analysis of the soils and rocks generally produces a lognormal rather than normal distribution, as AHRENS (1954)

normale mais lognormale comme l'a montré AHRENS (1954) cité par BROOKS (1972). Les histogrammes des résultats sont en effet le plus souvent asymétriques et les médianes plus proches des moyennes géométriques que des moyennes arithmétiques. Les comparaisons ont donc été faites sur les logarithmes des valeurs analytiques. La méthode utilisée a été celle des couples décrite par VAISSEREAU (1960), testée au t de STUDENT-FISHER. Deux seuils de significativité ont été retenus :

S : 0,1 probabilité 90 % assez significatif,

S_+ : 0,05 probabilité 95 % significatif.

Parallèlement à cette étude des sols, des relevés floristiques ont été effectués sur la végétation naturelle, sur une partie des sites étudiés.

quoted by BROOKS (1972) has already shown, since the histograms of the findings are usually asymmetrical and the medians closer to geometrical than to arithmetical averages. The comparisons were therefore based on logarithms of the values found. We employed the pairing method described by VAISSEREAU (1960) checked against the t test of Student-Fisher. Two significance thresholds were decided :

S : 0.1 probability 90 % fairly significant

S+ : 0.05 probability 95 % significant.

Besides this study of the soils, floristic surveys were carried out on the natural vegetation on part of the sites in question.

2 - CARACTÉRISTIQUES ÉCOLOGIQUES DES SITES RETENUES (Tableau 33)

Les huit sites de plantation retenus ont été observés dans la formation à Talasiga. Toutefois comme nous avons pu le voir dans l'étude de Lakéba, la formation à Talasiga recouvre un ensemble d'unités écologiques assez divers. La pluviométrie voisine de 2000 mm/an en moyenne à Lakéba et Lolo (Viti Levu) est nettement supérieure sur le plateau de Nadarivatu où elle dépasse 3500 mm en moyenne par an. Ceci provoque d'ailleurs dans ce secteur un recru de la végétation forestière naturelle assez rapide, dans les zones plantées et donc non soumises au feu. Ces sites se trouvent en situation topographique très variable, versant à faible, moyenne et forte pente ou plateau. Les sols sont par ailleurs assez différents bien qu'appartenant tous à l'ensemble ferrallitique. On peut observer des sols kaoliniques très érodés (ferralic cambisols), des sols kaoliniques plus profonds humifères (humic ferralsols) et des sols allitiques très profonds peu humifères (acric ferralsols). Ces différences de conditions se traduisent de façon plus ou moins accentuées sur la végétation naturelle par la présence de

2 - ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE SITES (Table 33)

The eight plantation sites were all on talasiga formations, though the term « talasiga », as the study of Lakeba showed, covers a fairly broad range of ecological categories. The annual rainfall averages around 2000 mm on Lakeba and at Lolo (Viti Levu) but is much higher on the Nadarivatu plateau, where the mean exceeds 3500 mm per annum. Indeed, on this plateau the amount of rain is causing a rapid comeback of the natural forest vegetation in areas which, being under pines, are not burned. Topographically the sites varied considerably, with gentle, medium and steep slopes as well as plateaux represented. Although the soils were all basically ferrallitic, they differed from each other and included very eroded kaolinic soils (ferralic cambisols), deeper humiferous kaolinic soils (humic ferralsols) and very deep but only slightly humiferous allitic soils (acric ferralsols). The different local conditions were reflected in varying proportions of pyrophytic formations amid the natural vegetation. These formations were dominated by ferns on Lakeba but on Viti Levu also contained graminaceous plants

Tableau 33. — Caractéristiques écologiques des sites retenus

Couples et âge	Localisation	Pluviométrie	Position topographique	Sols	Végétation naturelle
Viti Levu					
PS1 - PS7 Plantation 10 ans	Lolo (Rivière Teindamu)	1 750 mm	Versant à faible pente. Alt. 150 m	Ferralic cambisols (série peu profonde)	Fougeraie très basse
PS2 - PS8 Plantation 10 ans	Lolo (Rivière Teindamu)	1 750 mm	Versant à faible pente. Alt. 150 m	Ferralic cambisols (série moyennement profonde)	Fougeraie basse
PS3 - PS4 Plantation 5 ans	Lolo (vers Kozzongolo)	2 500 mm	Versant à pente moyenne Alt. 350 m	Ferralic cambisols (série peu profonde)	Fougeraie basse
PS5 - PS6 Plantation 15 ans	Nadarivatu	3 525 mm	Bas versant de toute pénéplaine. Alt. 640 m	Humic ferralsols (série profonde)	Formation herbeuse
Lakéba					
LC1 - LC2 Plantation 4 ans	Lakéba (aérodrome)	2 000 mm	Plateau Alt. 110 m	Acric ferralsols (série profonde)	Fougeraie basse
LC3 - LC4 Plantation 10 ans	Lakéba (Nasaqalau)	2 000 mm	Plateau Alt. 110 m	Acric ferralsols (série profonde)	Fougeraie haute
LC5 - LC6 Plantation 7 ans	Lakéba (Tubou)	2 000 mm	Forte pente Alt. 70 m	Ferralic cambisols (série peu profonde)	Fougeraie basse
LC7 - LC 8 Plantation 6 ans	Lakéba (Levuka)	2 000 mm	Plateau Alt. 40 m	Acric ferralsols (série profonde)	Fougeraie haute

Table 33. — Ecological characteristics of the sites

Paired sites and age of plantations	*Location*	*Rainfall*	*Topographic situation*	*Soils*	*Natural vegetation*
Viti-Levu					
PS1 - PS7 10 years old	*Lolo (Teindamu River)*	*1 750 mm*	*Gentle slope Elevation 150 m*	*Ferralic Cambisols (shallow type)*	*Very low fern thicket*
PS2 - PS8 10 years old	*Lolo (Teindamu River)*	*1 750 mm*	*Gentle slope Elevation 150 m*	*Ferralic Cambisols (moderately deep type)*	*Low fern thicket*
PS3 - PS4 5 years old	*Lolo (towards Kozzongolo)*	*2 500 mm*	*Medium slope Elevation 350 m*	*Ferralic Cambisols (shallow type)*	*Low fern thicket*
PS5 - PS6 15 years old	*Nadarivatu*	*3 525 mm*	*Low slope of peneplain Elevation 640 m*	*Humic Ferralsols (Deep type)*	*Herbaceous formation*
Lakeba					
LC1 - LC2 4 years old	*Airstrip*	*2 000 mm*	*Plateau Elevation 110 m*	*Acric Ferralsols (deep type)*	*Low fern thicket*
LC3 - LC4 10 years old	*Nasaqalau*	*2 000 mm*	*Plateau Elevation 110 m*	*Acric Ferralsols (deep type)*	*Tall fern thicket*
LC5 - LC6 7 years old	*Tubou*	*2 000 mm*	*Steep slope Elevation 70 m*	*Ferralic Cambisols (shallow type)*	*Low fern thicket*
LC7 - LC8 6 years old	*Levuka*	*2 000 mm*	*Plateau Elevation 40 m*	*Acric Ferralsols (deep type)*	*Tall fern thicket*

formations pyrophytes. Ces formations dominées par les fougères à Lakéba contiennent aussi des graminées et principalement le Mission Grass *(Pennisetum polystachyon)* à Viti Levu. Les conditions écologiques de ces divers sites sont donc relativement variés.

3 - RÉSULTATS

3.1 - Caractéristiques physiques (Tableau 34)

Densité apparente, porosité

La porosité totale est en relation avec les densités apparentes et réelles par la formule :

$$p = \frac{dr - da}{dr}$$

Ces deux données sont liées sur ces sols, les variations de la densité réelle étant très faible (2,75 en moyenne pour A_1; 2,80 pour A_3 et (B) C).

L'observation d'une coupe de sol indique, dans les horizons humifères, une porosité supérieure sous pins à celle observée sous végétation à talasiga. On note en particulier une augmentation des trous de vers. Ceci est confirmé par l'analyse statistique des mesures de densité apparente et par la comparaison des moyennes des porosités. Cet accroissement de la porosité superficielle est probablement en liaison directe avec l'augmentation de l'infiltration décrite précédemment par BAYLISS-SMITH. Cette augmentation ne touche toutefois significativement que l'horizon A_1 et elle semble plus marquée dans les vieilles plantations que dans les jeunes.

Instabilité structurale

Parallèlement à cet accroissement de la porosité, on note dans les horizons humifères des profils décrits, une structure plus développée sous plantation de pins que sous végétation naturelle. Cette structure est généralement polyédrique fine à moyenne très nette dans les horizons A_1 sous pins et polyé-

and especially Mission Grass (Pennisetum polystachyon). *In short, the sites were relatively varied ecologically.*

3 - FINDINGS

3.1 - Physical characteristics (Table 34)

Bulk density and porosity

Total porosity is related to bulk and particle density by the formula :

$$p = \frac{pd - bd}{pd}$$

On these soils the two values are related as the variations in particle density are very small (2.75 on average for A1 and 2.80 for A3 and (B) C).

Observation of a soil profile showed that the humiferous horizons were more porous under pine than under talasiga with, in particular, more wormholes. This was borne out by the statistical analysis of measurements of bulk density and by the comparison of porosity averages. The increase in porosity near the surface is probably directly related to the increased infiltration reported by BAYLISS-SMITH in an earlier chapter. However, it was significant only in the A1 horizon and appeared greater in the older than in the younger plantations.

Structural instability

In the humiferous horizons of the profiles examined, the increased porosity was accompanied by a more developed structure under pines than under natural vegetation. This structure was generally very strong fine to medium blocky in the A1 horizon under pines and strong fine to medium subangular blocky under natural vegetation. The improved structure of

Tableau 34. — Comparaison entre les caractéristiques physiques des sols sous plantation de pins et sous Talasiga : Lakéba, Viti Levu

Table 34. — Comparison of physical characteristics of soils under pines and under Talasiga : Lakeba and Viti Levu

Caractéristiques du sol (moyenne de 8 couples) *Characteristics of soils (average of 8 pairs)*	Sols sous pins *Soils under pines*	Sols sous Talasiga *Soils under Talasiga*	Significativité au test t de Student-Fisher (distribution lognormale) *Significance with Student Fisher's t test (lognormal distribution)*
Densité apparente/*Bulk density*			
0 - 5 cm	0,66	0,75	t = 1,92 S
10 - 15 cm	0,87	0,95	t = 0,31 NS
50 - 60 cm	0,98	1,00	t = 0,56 NS
Porosité %/*Porosity %*			
0 - 5 cm	76	72	
10 - 15 cm	69	66	
50 - 60 cm	65	65	
Instabilité structurale/*Structural instability*			
0 - 10 cm	0,56	0,75	t = 2,42 S^+
Rétention pour l'eau/*Water retention*			
0 - 10 cm	17,7	14,4	t = 0,78 NS

Différence assez significative/*Fairly significant difference*	S	P 0,1
Différence significative/*Significant difference*	S^+	P 0,05
Différence non significative/*Not significant*	NS	P 0,1

drique subangulaire fine à moyenne nette sous végétation naturelle. Cette amélioration de la structure des sols sous plantation est confirmée par la diminution du taux d'instabilité structurale du sol dans l'horizon A_1.

Rétention pour l'eau (pF 3 - pF 4,2)

La quantité d'eau pouvant être retenue par le sol entre pF 3 (capacité au champ estimée) et pF 4,2 (point de flétrissement) n'apparaît par contre pas significativement accrue sous plantation bien que les moyennes dans ce cas soient supérieures.

Il apparaît ainsi que les plantations de pins jouent, au stade où elles ont été observées, un rôle positif non négligeable sur les caractéristiques physiques des horizons A_1 des sols.

3.2 - Caractéristiques chimiques du sol (tableau 35)

Matière organique

Dans les « talasiga soils » les teneurs en matières organiques peuvent être assez élevées en surface, principalement dans les secteurs à faible pente. Elles décroissent toutefois très rapidement en profondeur. Les teneurs en matière organique apparaissent sur cet essai assez significativement supérieures dans les horizons A_1 sous plantation. Cette différence est par contre très réduite et même négative en moyenne dans les horizons A_3 entre les deux traitements.

Une différence apparaît aussi dans les moyennes entre les teneurs en azote des horizons 0-10 cm en faveur des zones plantées. Cette différence n'apparaît toutefois pas significative au seuil de 0,1 bien qu'elle en soit très proche.

On remarque donc un accroissement sensible des teneurs en carbone et à un moindre degré en azote dans les sols sous plantation de pins par rapport aux sols sous végétation naturelle. Cet accroissement n'est toutefois pas proportionnel et l'on note une augmentation sensible, bien que non significative, du rapport C/N sous plantation. Ceci indiquerait peut-être une difficulté de minéralisation du carbone dans les zones plantées

plantation soils was confirmed by a lower degree of structural instability in the A1 horizon.

Water retention (pF 3 - pF 4.2)

The amount of moisture that the soil is able to retain between pF 3 (estimated field capacity) and pF 4.2 (wilting point) did not appear significantly higher under pines even though average levels were up.

It therefore seems that the planting of pine trees, at the stage observed, has a noticeably beneficial impact on the physical characteristics of the A1 horizons of the soils.

3.2 - Chemical characteristics of the soils (Table 35)

Organic matter

In talasiga soils, the amount of organic matter may reach quite high levels at the surface, especially on gentle slopes, but it decreases rapidly with depth. In this test, the amount of organic matter came out fairly significantly higher in the A1 horizons under pines, but in the A3 horizons the average difference was very slight and in favour of talasiga.

Average nitrogen content in the top 10 cm was also higher for planted areas but the difference was not significant at the 0.1 threshold though it came very close to being so.

Carbon levels and, to a lesser extent, nitrogen levels were therefore noticeably higher in soils under pines than in those under natural vegetation. They did not, however, rise in the same proportion and there was a definite increase — though not significant — in the C/N ratio under pines. This may be a sign of carbon mineralization problems in the plantations, recalling a well-established trait, described by DUCHAUFOUR, in the evolution of soils under pines, namely, the poor mineralization of organic matter.

pH and the exchange complex

Changes in pH in these acidic soils are not conclusive. On average there was a slight increase in acidity in the soils under

Tableau 35. — Comparaison entre les caractéristiques chimiques des sols sous plantation de pins et sous Talasiga : Lakéba, Viti Levu

Table 35. — Comparison between chemical characteristics of soils under pines and under Talasiga : Lakeba and Viti Levu

Caractéristiques du sol (moyenne de 8 couples) *Characteristics of the soil (average of 8 pairs)*		Sols sous pins *Soils under pines*	Sols sous Talasiga *Soils under Talasiga*	Significativité au test t de Student-Fisher (distribution log-normale) *Significance with Student-Fisher's t test (lognormal distribution)*	
Matière organique/*Organic matter*					
Carbone %/*Carbon %*	0 - 10 cm	4,21	3,51	t = 1,84	S
	10 - 20 cm	1,16	1,22	t = 0,88	NS
Azote %/*Nitrogen %*	0 - 10 cm	0,22	0,19	t = 1,73	NS
	10 - 20 cm	0,08	0,07	t = 1,33	NS
C/N	0 - 10 cm	18,3	16,5	t = 1,22	NS
	10 - 20 cm	16,9	18,1	t = 0,17	NS
pH	0 - 10 cm	5,1	5,2	t = 1,17	NS
	10 - 20 cm	5,0	5,1	t = 0,15	NS
	40 - 50 cm	4,9	5,1	t = 0,82	NS
Eléments échangeables/*Exchangeable bases*					
Ca++ en mé/100 g	0 - 10 cm	5,06	3,74	t = 2,06	S
	10 - 20 cm	1,78	1,72	t = 0,61	NS
	40 - 50 cm	1,82	1,92	t = 0,39	NS
Mg+ en mé/100 g	0 - 10 cm	3,35	2,78	t = 2,01	S
	10 - 20 cm	1,22	1,52	t = 0,3	NS
	40 - 50 cm	0,73	0,80	t = 0,1	NS
K+ en mé/100 g	0 - 10 cm	0,21	0,22	t = 0,61	NS
	10 - 20 cm	0,07	0,10	t = 0,2	NS
	40 - 50 cm	0,05	0,05	t = 0,02	NS
Na+ en mé/100 g	0 - 10 cm	0,43	0,40	t = 1,2	NS
	10 - 20 cm	0,40	0,46	t = 0,72	NS
	40 - 50 cm	0,39	0,36	t = 0,5	NS
S en mé/100 g	0 - 10 cm	9,1	7,2	t = 2,31	S+
	10 - 20 cm	3,4	3,8	t = 1,02	NS
	40 - 50 cm	3,3	3,5	t = 0,02	NS
C.E.C. en mé/100 g	0 - 10 cm	21,2	19,5	t = 1,14	NS
	10 - 20 cm	12,9	14,4	t = 0,56	NS
	40 - 50 cm	14,0	12,5	t = 1,07	NS
Phosphore de réserve + *Phosphorus reserves*					
P_2O_5 ppm	0 - 10 cm	779	819	t = 0,16	NS
	10 - 20 cm	660	823	t = 0,74	NS
	40 - 50 cm	769	782	t = 0,28	NS

Différence assez significative/*Fairly significant difference*	S	P 0,1
Différence significative/*Significant difference*	S+	P 0,05
Différence non significative/*Not significant*	NS	P 0,1

ce qui rejoint l'une des caractéristiques classiques de l'évolution des sols sous pineraie décrite par DUCHAUFOUR : la mauvaise minéralisation de la matière organique.

pH, complexe d'échange

L'évolution du pH dans ces sols acides apparaît peu concluante. Si l'on note une légère acidification en moyenne sur les sols sous plantation, cette différence n'est pas significative. Elle apparaît d'ailleurs dans tout le profil.

On note par contre un accroissement significatif de la somme des bases échangeables dans l'horizon A_1 sous plantation. Cet

pines but the difference, though common to the entire profile, was not significant.

On the other hand, the sum of exchangeable bases in the A1 horizon under pines rose significantly, mainly owing to significant 0.1 threshold increases in calcium and magnesium in that horizon. The pines had no noticeable effect on potassium and sodium. This disparity in the reactions of the exchangeable cations is probably due to the frugal use of potassium by pine trees (QUANTIN 1969) coupled with the fact that the chemical composition of pine needles (rich in Ca++ and Mg++ but poor in K+) differs from that of the potassium-rich ferns on

accroissement est dû principalement au calcium et au magnésium qui apparaissent tous deux significatifs au seuil de 0,1 dans l'horizon A_1. Aucun effet de la plantation n'est observable par contre pour le potassium et pour le sodium. Cette différence de réponse des cations échangeables serait liée à la frugalité des pins pour la potasse (QUANTIN 1969) et à la différence de composition chimique existant entre les aiguilles de pins (riches en Ca^{++} et Mg^{++} et pauvres en K^{+}) et les fougères qui composent la base de la végétation naturelle et qui sont riches en potassium (JAFFRE, communication personnelle).

Un accroissement de la capacité d'échange peut aussi être noté sous pins ; cet accroissement n'apparaît toutefois pas significatif.

Réserves en phosphore

Aucun effet des plantations ne peut être noté sur les teneurs en phosphore total du sol. Ceci tient probablement à l'importance des phosphates non assimilables dans l'ensemble des phosphates. Une étude plus poussée devrait être menée sur les phosphates véritablement assimilables pour conclure.

3.3 - Activité biologique du sol

L'activité biologique dans les horizons humifères des « Talasiga soils » apparaît relativement réduite. Morphologiquement, sous plantation, on observe un accroissement de la faune du sol représentée principalement par les vers de terre et les myriapodes. Cette observation est corroborée par les mesures de dégagement de CO_2 à la surface du sol (tableau 36).

Tableau 36. — Différence d'activité biologique du sol entre les zones plantées en Pinus et les zones sous végétation naturelle

Moyenne	Sol sous plantations de pins	Sol sous végétation naturelle	Significativité au test t de Student-Fischer (diostribution log-normale
Activité biologique $CO^2/m^2/h$	79	60	t = 2,77 S +

Elle doit toutefois être rapprochée de l'augmentation du rapport C/N dans les horizons A_1. Il y aurait donc une augmentation de l'activité biologique sous plantation de pins, cette augmentation n'étant toutefois pas suffisante pour permettre une minéralisation rapide du surplus de litière dû aux pins.

3.4 - Végétation naturelle

La végétation naturelle a été observée sur cinq couples et n'a pas donné lieu à une analyse statistique. Le tableau, regroupant les relevés effectués, indique une augmentation très nette du nombre d'espèces observées sous plantations de pins. Cette augmentation touche les espèces indigènes mais surtout les espèces introduites (tableau 37). La densité de cette végétation est aussi bien plus grande sous plantation. Cela peut se traduire dans certaines vieilles plantations en zone humide, comme cela a été observé à Nandarivatu (Vitu Levu) par un recru forestier très important. Ceci a fait dire à certain forestier que la forêt de pins ne pourra se maintenir dans ces conditions que grâce à des défrichements ou même à des feux.

which the natural vegetation is based (JAFFRE, personal communication).

An increase in the exchange capacity was also noted under pines, but it was not significant.

Phosphorus reserves

The plantations appeared to have no effect on total phosphorus levels, probably because of the high proportion of non-assimilable phosphates in the total phosphate reserves. To verify this, there should be a more thorough study of the truly assimilable phosphates.

3.3 - Biological activity in the soil

Biological activity in the humiferous horizons of talasiga soils appears to be fairly low. From a morphological point of view, the soil fauna, chiefly earthworms and Myriapoda, were more numerous under pines. This observation was corroborated by measurements of CO_2 emission on the surface of the soil (Table 36).

Table 36. — Comparison of biological activity in the soil between areas under pinus caribaea and areas under natural vegetation

Average	*Soils under pines*	*Soils under natural vegetation*	*Significance with Student-Fisher's t test (lognormal distribution)*
Biological activity $CO_2/m2/hour$	79	60	t = 2.77 S +

This should be compared with the greater C/N ratio in the A1 horizons : there is indeed more biological activity under pine plantations but not enough to permit the rapid mineralization of surplus litter from the pines.

3.4 - Natural vegetation

The natural vegetation was examined at five paired sites but no statistical analysis was made. Table 37, which presents the data gathered, shows a distinct increase in the number of species found in the pine plantations, affecting indigenous species but more especially introduced species. The vegetation was also more dense under pines. In some of the older plantations in wet areas — at Nandarivatu on Viti Levu for instance — there are signs that the forest is making such a vigorous comeback that, in the opinion of a forester, no pine forest could stand up to such conditions without the aid of clearance operations or even fires.

Tableau 37. — Comparaisons des compositions floristiques des formations à Talasiga et des zones plantées en pins

Origine	Genre, espèce	Talasiga	Plantation de pins
N	Casuarina equisetifolia	+ + + +	+ + +
N	Cerbera manghas	+ + + +	+ + + +
N	Commersonia bartramia	+	+ +
N	Cordiline terminalis		+
N	Dicranopteris linearis	+ + + +	+ + +
N	Dodonea viscosa	+ + + +	+ + + +
N	Entada phaseoloides		+
N	Euphorbia hirta		+
N	Fimbristilis sp.	+	+
I	Hyptis pectinata	+ +	+ +
I	Malvastrum coromandelianum		+
I	Melastoma denticulatum		+
N	Metrosideros collina		+ +
I	Mikania micrantha		+
I	Mimosa pudica	+	+
N	Morinda citrifolia	+ +	+
N	Mussaenda raiateensis	+	
N	Nephrolepis sp.		+ + +
N	Pandanus odoratissimus	+ + +	+ + + +
I	Passiflora foetida	+ +	+ +
I	Penisetum polystathyon		+
I	Pinus caribaea		+ + + +
N	Polygala paniculata	+ + +	+ +
I	Psidium guajava	+	+ +
N	Pteridium esculentum	+ + + +	+ + + +
N	Spathoglottis pacifica	+	+ +
I	Stachytarpheta urticaefolia	+	+ +
N	Tacca maculata	+ +	+ +
N	Wickstroemia foetida	+ + +	+ + +

N : espèces indigènes — I : espèces introduites
+ + + + : très abondante — + + + : abondante — + + : peu abondante — + : présente exceptionnellement
- Talasiga : 19 espèces dont 14 indigènes et 5 introduites
- Plantations de pins : 28 espèces dont 18 indigènes et 5 introduites.

Table 37. — Comparison of floristic composition of Talasiga formations and pine plantations

Origin	*Genus, species*	*Talasiga*	*Pine plantations*
N	Casuarina equisetifolia	+ + + +	+ + +
N	Cerbera manghas	+ + + +	+ + + +
N	Commersonia bartramia	+	+ +
N	Cordiline terminalis		+
N	Dicranopteris linearis	+ + + +	+ + +
N	Dodonea viscosa	+ + + +	+ + + +
N	Entada phaseoloides		+
N	Euphorbia hirta		+
N	Fimbristilis sp.	+	+
I	Hyptis pectinata	+ +	+ +
I	Malvastrum coromandelianum		+
I	Melastoma denticulatum		+
N	Metrosideros collina		+ +
I	Mikania micrantha		+
I	Mimosa pudica	+	+
N	Morinda citrifolia	+ +	+
N	Mussaenda raiateensis	+	
N	Nephrolepis sp.		+ + +
N	Pandanus odoratissimus	+ + +	+ + + +
I	Passiflora foetida	+ +	+ +
I	Penisetum polystathyon		+
I	Pinus caribaea		+ + + +
N	Polygala paniculata	+ + +	+ +
I	Psidium guajava	+	+ +
N	Pteridium esculentum	+ + + +	+ + + +
N	Spathoglottis pacifica	+	+ +
I	Stachytarpheta urticaefolia	+	+ +
N	Tacca maculata	+ +	+ +
N	Wickstroemia foetida	+ + +	+ + +

N : native species — I : introduced species
+ + + + : very abundant — + + + : abundant — + + : rather uncommon — + : very uncommon
- Talasiga : 19 species, including 14 indigenous and 5 introduced
- Pine plantations : 28 species, including 18 indigenous and 10 introduced.

4 - DISCUSSION

L'effet des pins sur les sols après 10 ans de plantation semble donc encore relativement faible à Fidji. Il ne touche que l'horizon humifère superficiel du sol et influence principalement les caractéristiques physiques (densité apparente, porosité, instabilité structurale), chimiques (carbone et calcium et magnésium échangeables) et biologiques (activité biologique totale du sol). Cet effet est pour l'instant positif (fig. 30) contrairement à la plupart des observations faites par ailleurs.

Il est lié principalement à l'augmentation des apports de matière organique par la litière. Il a pu être noté que la densité de la végétation naturelle augmentait sous plantation, il semble toutefois que ce soit principalement les pins qui jouent un rôle dans cet accroissement de la teneur en matière organique. Les éléments minéraux apportés par la litière sont en effet principalement le calcium et le magnésium, cations qui sont bien représentés dans la composition des aiguilles de pins. Par contre le potassium qui est en faible teneur dans les aiguilles de pins mais en forte teneur dans les fougères n'apparaît pas supérieur dans les zones plantées. Il semble donc bien que les améliorations du sol soient dues aux pins et non simplement à un accroissement la végétation spontanée liée à un arrêt des feux.

A cette augmentation de la matière organique est liée une augmentation de l'azote comme cela a déjà été souligné par BEVEGE et RICHARDS (1970). Cet enrichissement permet une augmentation significative de l'activité biologique du sol. Il

4 - DISCUSSION

Ten years after planting, it seems that the pines have not yet had much influence on the soils of Fiji. The impact is confined to the upper humiferous horizon and chiefly affects physical (bulk density, porosity, structural instability), chemical (carbon, exchangeable calcium and magnesium) and biological characteristics (total biological activity of the soil). For the moment, and in contrast to most of the evidence from other regions, the pines are having a beneficial effect on the soil (Fig. 30).

This is largely because of higher inputs of organic matter from the litter. Though the natural vegetation was found to be denser under plantation, it seems that the pines are mainly responsible for the increase in organic matter : the principal minerals derived from the ground litter were calcium and magnesium, cations which are well represented in pine needles, whereas potassium levels, low in pine needles but high in ferns, were not higher in the planted areas. This implies that improvement of the soil was due to the pines and not simply to an upsurge of spontaneous vegetation as a result of fire prevention.

Higher levels of organic matter mean higher levels of nitrogen, as BEVEGE and RICHARDS (1970) have already pointed out. In this case, more nitrogen has brought about a significant increase in the soil's biological activity, though not enough for rapid digestion of the ground litter.

Lastly, the greater floristic variety under pine plantations is an obvious sign of greater soil fertility. In certain areas (Nausori

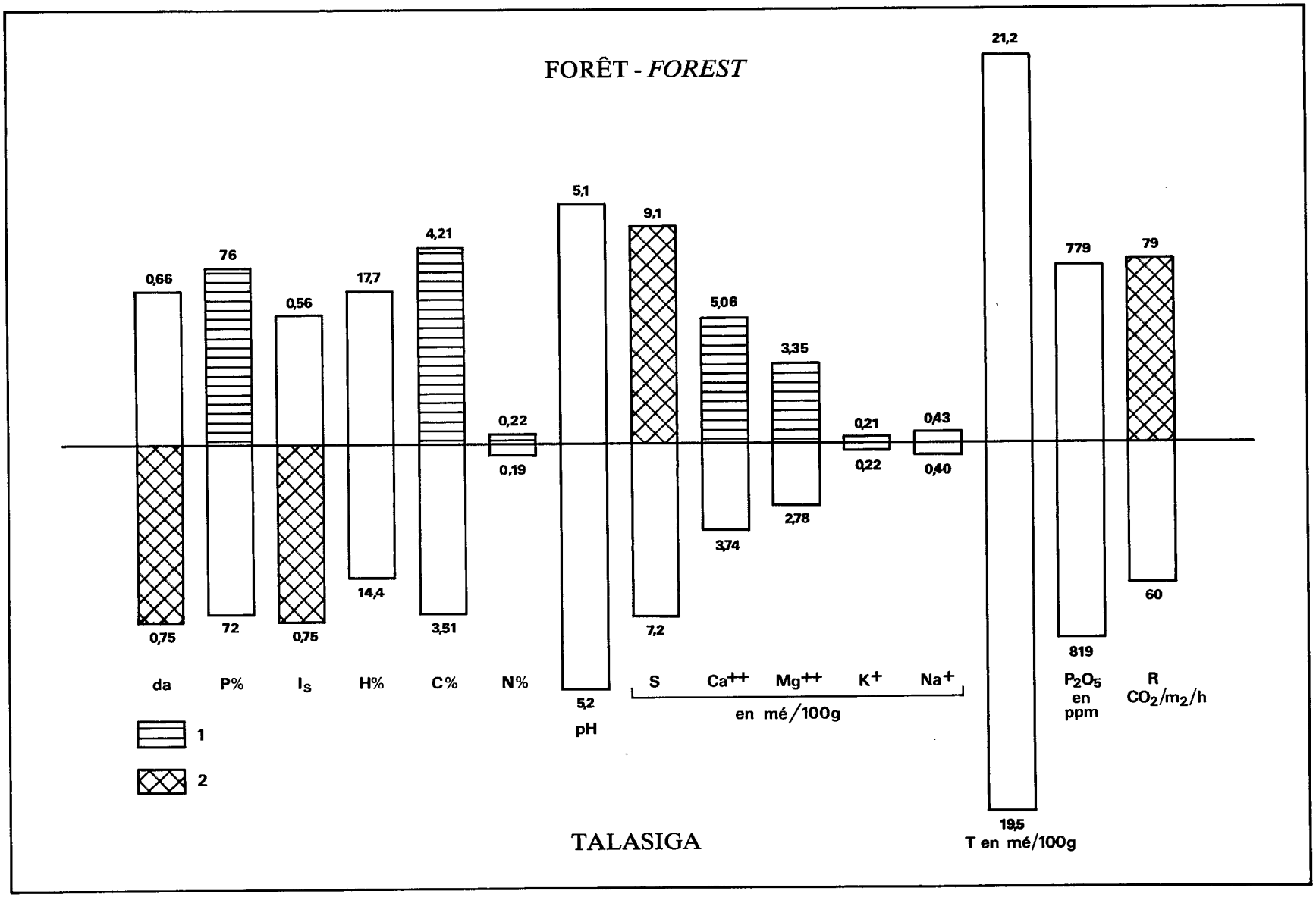


Figure 30 : Caractéristiques physico-chimiques des sols sous plantation et sous Talasiga
Physico-chemical characteristics of soil, under plantation and under Talasiga
1 assez significatif/*fairly significative ;* 2 significatif/*significative*

n'est pas toutefois suffisant pour permettre une digestion rapide de la litière.

Enfin l'enrichissement de la flore sous plantation forestière est un signe évident de l'amélioration de la fertilité du sol. Dans certaines zones (Nausori highlands - Viti Levu) il a même été tenté de faire des pâturages sous plantation en utilisant la flore sous jacente à base de « mission grass » *(Pennisetum polystachyon)*. Cette utilisation directe de la flore spontanée n'est toutefois possible que lorsque cette flore est à base de plantes consommables par le bétail (Graminées ou Légumineuses) ce qui n'est pas le cas à Lakéba. Sur cette île toutefois des tentatives d'introduction de *Stylosanthes gracilis* et de *Brachiaria humidicola* ont été réalisées avec succès. En plus des possibilités de revenu que de telles introductions apporteraient, elles permettraient peut-être, en particulier dans le cas des légumineuses, de rétablir un équilibre carbone/azote qui tend à se dégrader.

CONCLUSION

L'effet de la forêt de pins sur le milieu apparaît donc faible mais positif après 10 à 15 ans de plantation. L'influence de ces plantations se fait sentir tant sur le sol lui-même que sur la végétation sous jacente ou peut-être sur les qualités hydrologiques du milieu. Les modifications apportées au sol sont principalement liées aux remontées biologiques et aussi dans certains cas, à l'arrêt de l'érosion superficielle. Les pins, par leur croissance rapide, favorisent l'accroissement des teneurs en matière organique, en calcium et en magnésium du sol, ainsi à un moindre degré que les concentrations en azote. Ils favorisent de la sorte l'accroissement de la porosité et de la structuration des horizons humifères et permettent une augmentation de l'activité biologique et donc la fertilité des terres. On note ainsi une diversification de la flore sous-jacente et un accroissement de la biomasse produite. Parallèlement, BAYLISS-SMITH (cf. chapitre F) a montré l'influence positive de ces plantations sur l'infiltration des pluies et donc sur la réduction du ruissellement. Les mesures faites sur des plantations de pins de 10 ans d'âge moyen dans les formations à Talasiga à Fidji indiquent donc plutôt une régénération et un enrichissement du milieu. Ce résultat qui paraît en contradiction avec les écrits de nombreux auteurs tient probablement à l'état dégradé de la formation de référence à Talasiga. La majorité des études sur l'effet des pinèdes ont en effet été réalisées avec comme terme de comparaison une forêt dense de feuillues dans un milieu relativement équilibré. Il en va tout différemment dans le cas présent où le terme de référence est une formation qui elle-même est très dégradée. La plantation de pins apparaît donc comme un élément régénérateur du milieu. Il semble toutefois difficile, vu la relative jeunesse des plantations, d'évaluer les modifications à long terme de ce milieu.

Highlands on Viti Levu) attempts have even been made to make pastures under the pines by using the undergrowth dominated by « Mission Grass » (Pennisetum polystachyon). *However the spontaneous undergrowth can only be utilized directly when it is made up of plants that livestock can eat (Gramineae and Leguminosae), which is not the case on Lakeba. There, successful attempts have been made to introduce* Stylosanthes gracilis *and* Brachiaria humidicola. *Quite apart from the income potential of introduced plants such as these, they may — especially the legumes — help to redress a carbon/nitrogen equilibrium which is tending to deteriorate.*

CONCLUSION

At 10 to 15 years old, the pine plantations appear to have a slight but beneficial effect on the environment. Their influence can be detected in the soil itself, in the undergrowth and possibly in the hydrological qualities of the environment. Most of the changes in the soil derive from biological recovery and, in some cases, the stopping of surface erosion. Since pines grow rapidly, they help raise organic matter, calcium and magnesium levels and, to a lesser extent, the amount of nitrogen. They thus increase porosity, improve the structure of the humiferous horizons and foster greater biological activity and hence soil fertility. The ground flora becomes more varied and the biomass increases. BAYLISS-SMITH *(seeChapter F) has also shown how these plantations improve the infiltration of rainwater and so reduce runoff. The data gathered from pine plantations averaging ten years of age and established on Fijian talasiga formations therefore indicate renewal and enrichment of the environment. The fact that these findings are at variance with the writings of many specialists is probably due to the degraded condition of the talasiga formation. Most studies on the impact of pinewoods use a dense deciduous forest in a relatively well-balanced environment for purposes of comparison. In our case the situation was quite different since the plantations were compared with a formation itself undergoing rapid degradation. They therefore emerge as a positive contribution to environmental renewal, though their relative youth makes it difficult to gauge their long-term impact on this environment.*

I - Evolution des sols et des rendements en culture semi-continue de taro

Parallèlement à l'étude de l'évolution des caractéristiques des milieux à Talasiga, après reforestation, il est apparu nécessaire de suivre l'évolution des sols et des rendements pour une culture vivrière traditionnelle. La taro a été choisi car il représente la culture vivrière de base de ces petites îles orientales des Fidji. Sa culture se pratique en sec, le plus souvent après défrichement de la forêt ou avec uné irrigation contrôlée comme c'est le cas à Lakéba. Les parcelles retenues par B. DENIS, H.C. BROOKFIELD et P. HAYNES sont situées sur des sols bien drainés à Taveuni (andosols et ferralsols) et sur des sols hydromorphes à Lakéba (gleysols et histosols). Il y a donc au départ une assez grande hétérogénéité du milieu. Par ailleurs à Fidji de nombreuses variétés sont cultivées. Malgré un choix minutieux des parcelles, cette hétérogénéité variétale n'a pas pu être complètement éliminée. Enfin les conditions de micro-environnement et de travail du sol sont aussi bien souvent déterminantes sur les récoltes. Cette étude a donc présenté un problème méthodologique souvent très difficile à résoudre.

Il n'en reste pas moins que ces investigations ont donné des résultats intéressants au point de vue écologique :
— aucune évolution notable des caractéristiques du sol n'a pu être observée après culture de taro dans les sites étudiés ;
— l'évolution des rendements semble plus liée à des différences de conditions culturales qu'à un épuisement des sols.

Cette culture semble donc particulièrement bien adaptée au milieu fidjien. Ses rendements équivalents ou supérieurs aux moyennes généralement admises (Ministère de la Coopération 1974) en font une culture vivrière particulièrement intéressante. Les sites où elle a été observée semblent indiquer que cette culture peut être, dans ces cas bien précis, pratiquée de façon semi-continue sans risques majeurs pour le niveau de fertilité des terres.

1 - EVOLUTION DES SOLS SOUS CULTURE DE TARO

La cartographie de deux zones de l'île de Taveuni et celle plus détaillée de Lakéba a permis d'évaluer la nature des sols, leur répartition et leur étendue respective.

Une certaine partie d'entre eux est actuellement utilisée pour les cultures vivrières et spécialement pour celle du taro. Ces tubercules entrent pour une part importante dans l'alimentation des populations de ces deux îles et une partie non négligeable de la production est mise en vente sur les différents marchés (UNESCO/UNFPA, 1977).

L'augmentation des surfaces nécessaires pour répondre aux offres d'achat amène à défricher de nouvelles zones jusqu'alors couvertes de forêt et, dans les zones déjà cultivées, cette plante revient sur la même parcelle sans discontinuité pendant de nombreuses années.

Il apparaît donc utile d'avoir une idée aussi précise que possible des changements susceptibles d'intervenir au niveau

I - Evolution of soils and yields under the semi-continuous cultivation of taro

In addition to studying changes in the characteristics of talasiga areas after reafforestation, it seems necessary to look into the evolution of soils and yields in the case of a traditional food crop. Taro was chosen because it is the basic food crop on the eastern islands of Fiji. This plant is either grown dry, usually after clearance of the forest, or, as on Lakeba, with controlled irrigation. The plots selected for study by B. DENIS, H.C. BROOKFIELD and P. HAYNES were located on well-drained soils on Taveuni (andosols and ferralsols) and on hydromorphic soils on Lakeba (gleysols and histosols). There were, then, considerable environmental differences to begin with. In Fiji, moreover, a large number of varieties are cultivated and, even though the plots were chosen with great care, it proved impossible to eliminate all varietal differences. In addition, local environmental conditions and methods of cultivation often have a decisive influence on the harvest. The study was thus confronted with methodological problems many of which were very hard to resolve.

Nevertheless, the investigations produced interesting results from the ecological point of view :
— no marked changes in the characteristics of the soil were observed after cultivation of taro on the sites in question ;
— yields appear to depend more on the different conditions of cultivation than on soil exhaustion.

This crop thus appears particularly well suited to the Fijian environment. With yields at or above the generally accepted averages (French Ministry of Co-operation 1974), it is a highly advantageous food crop. The sites examined suggest that it could, in these particular instances, be cultivated on a semi-continuous basis without any major threat to soil fertility.

1 - EVOLUTION OF SOILS UNDER TARO

The mapping of two zones on Taveuni and the more detailed maps of Lakeba clarified the nature, distribution and surface area of the soils in each area.

Some of these soils are at present used for food crops, especially taro. These tubers play an important role in the diet of inhabitants of these two islands and a significant proportion of the crop is sold in the various markets (UNESCO-UNFPA 1977).

The increasing amount of land needed to meet the demands of buyers leads to the clearance of further areas hitherto under forest and, in areas already being cultivated, to replanting on the same plot for many years without a break.

It therefore appeared advisable to obtain as clear an idea as possible of the changes that were likely to occur in the characteristics of the soil, and hence fertility, as a result of this type of cultivation. The purpose was to determine criteria on the basis of which a possibly irreversible degradation could be prevented if the need arose. For this, paired sites — taro plot and control plot — were selected so as to bring out the effects of cultivation

des caractéristiques du sol du fait de ces pratiques culturales, et par voie de conséquence au niveau de sa fertilité ; il s'agit de définir les bases permettant de prévenir, si nécessaire, une dégradation éventuellement irréversible. Dans ce but, quelques couples « témoin-culture » ont été choisis de façon à connaître l'effet « mise en culture » à la fois sur les caractéristiques du sol et sur les rendements. Pour ces derniers, le travail a été effectué par P. HAYNES, agronome du projet et H.C. BROOKFIELD, et les résultats en sont donnés dans le paragraphe suivant.

Trois points seront étudiés, en ce qui concerne les sols : d'abord le choix des emplacements des différents couples « témoin-culture » ; puis la morphologie des profils et ses variations éventuelles, enfin les caractéristiques analytiques et les conclusions que l'on peut déduire de leur étude.

1.1 - Choix des parcelles

Sur les deux îles de Taveuni et de Lakéba, un certain nombre de grandes zones ont été définies ; elles correspondent à celles où un développement de la culture du taro est important et dans lesquelles il devrait se poursuivre. Ces zones sont au nombre de cinq sur Taveuni où la culture du taro s'effectue en sec et sur pentes, et de trois sur Lakéba où les tarodières sont irriguées et drainées. Dans chacune d'entre elles, une parcelle cultivée a été choisie et des prélèvements de matériel végétal ont été effectués pour connaître les rendements.

Pour cette étude, cinq parcelles (3 sur Taveuni et 2 sur Lakéba) ont été choisies de façon à comparer l'effet de la culture de taro sur le sol. C'est ainsi que sur Taveuni, deux couples dans le secteur Nord ont été retenus sur humic ferralsols (Quéléni Road sur la côte Est et Vioné Road sur la côte Ouest), le troisième est dans le secteur Sud et sur mollic andosols. Sur Lakéba, cette comparaison a été faite sur des sols hydromorphes, histosols et gleysols (respectivement vallée de Tubou et zone de Nasaqalau). Le problème a été de trouver une parcelle-témoin adéquate ; il a fallu se contenter dans deux cas d'une jachère de longue durée (20 à 40 ans) et dans une autre d'une plantation de cocotiers dont le sol n'avait reçu aucune autre culture intercalaire et aucune fumure.

1.2 - Les résultats

a) Examen morphologique des profils - Variations éventuelles

Cet examen porte sur les deux premiers horizons, qui constituent l'épaisseur du sol prospectée par les racines de taro. D'autre part, il s'agit uniquement de cultures manuelles, dont les techniques consistent à défricher la forêt, puis à planter les tubercules à plat, dans le cas du taro à sec, ou à faire des planches pour les tarodières irriguées ; ceci a pour conséquence de ne remuer le sol que sur une épaisseur ne dépassant pas 20 à 30 cm.

Dans le cas des humic ferralsols, l'horizon humifère A_1, d'une épaisseur de 15 à 20 cm, présente une structure plus nette sous forêt que sous culture ; le volume des vides entre les agrégats est plus important sous une végétation naturelle que sous taro ; par contre, la porosité apparaît aussi forte dans les deux cas. Du point de vue de la vie animale, les vers de terre ne se retrouvent pas sur la parcelle défrichée. La pénétration racinaire, bonne, est identique.

L'horizon sous-jacent, ou B, ne présente aucune différence notable.

Ce sont des sols très perméables du fait de leur forte porosité naturelle et qui se ressuyent rapidement.

Dans le cas des mollic andosols, dans l'horizon humifère A_1

on soil characteristics and yield. P. HAYNES, the project's agronomist, and H.C. BROOKFIELD dealt with yields and their findings are set out in the next section.

As regards the soils, three points are covered :

— first, the selection of the respective taro and control plots ;

— second, the morphology of the profiles and any differences noted ;

— thirdly, physical and chemical characteristics and their interpretation.

1.1 - Selection of plots

On both islands, certain broad zones were delimited where taro is and will probably continue to be extensively cultivated. There were five of these zones on Taveuni, within which dry taro is grown on slopes, and three on Lakeba where the taro plots are drained and irrigated. In each zone one cultivated plot was selected and plant samples were taken to ascertain yields.

For this study, five plots (3 on Taveuni and 2 on Lakeba) were selected to compare the effects of taro cultivation on the soil. In this way, two paired sites in northern Taveuni on humic ferralsols (Qeleni Road on the east coast and Vione Road on the west coast) and a third pair in southern Taveuni on mollic andosols were chosen. On Lakeba, the comparison involved hydromorphic soils, histosols and gleysols (Tubou valley and Nasaqalau area respectively). The problem was to find satisfactory control plots ; in two instances we had to make do with long-term fallows (20-40 years) and, in another, with a coconut grove whose soil had not been manured or used for cover crops.

1.2 - Results

a) Morphology of the profiles and possible differences

The first two horizons, corresponding to the depth of soil explored by taro roots, were examined. As manual cultivation only is involved, the method for dry taro being to clear the forest and then plant the tubers on their sides and for irrigated taro to construct beds, the soil is disturbed to a depth not exceeding 20-30 cm.

In the case of humic ferralsols, the A1 horizon, 15-20 cm deep, had a stronger structure under forest than under taro but macroporosity was greater under the natural vegetation, though porosity was equally high in both cases. As for soil fauna, the cleared plots had no earthworms. There were no differences in root penetration, which was good.

The underlying B horizons showed no difference worthy of note.

Owing to their great natural porosity, these soils are highly permeable and they dry out quickly.

In the case of mollic andosols, the A1 humiferous horizon, some 15 cm deep, also had a stronger structure in the control plot than under taro but macroporosity, considerable in both cases, showed no signs of having changed. There were many roots and their penetration appeared unaffected by preparation of the soil. Unlike the humic andosols, many earthworms were found in both the taro plot and the control.

The underlying AC horizon had a sandy-gravel texture due to the presence of numerous lapilli. It was loose and highly porous in both plots. This texture produced a weak blocky to single grain structure.

Lastly, in the hydromorphic soils of Lakeba, *whose profiles are composed of a humiferous horizon of about 15 cm topping a gley horizon, morphological examination revealed the*

d'une quinzaine de centimètres, on observe également une meilleure structure sous témoin que sous taro, mais le volume des vides n'a apparemment pas subi de variation et reste important. Les racines restent nombreuses et leur pénétration ne semble pas être affectée par la préparation du sol. Contrairement aux humic andosols, de nombreux vers de terre se retrouvent dans les deux éléments du couple.

L'horizon sous-jacent AC a une texture sablo-graveleuse du fait de la présence de nombreux lapillis. Il reste meuble et très poreux dans les deux parceles. La structure, du fait de la texture, est fragmentaire peu nette à particulaire.

Enfin, *dans les sols hydromorphes de Lakéba,* dont le profil est constitué d'un horizon humifère d'une quinzaine de centimètres surmontant un horizon à gley, l'observation morphologique montre une disparition de la structure qui devient fondue quand le sol est saturé d'eau par une nappe très proche de la surface ; mais la réapparition de polyèdres fins et moyens nets se produit dès que le ressuyage a pu s'effectuer. La pénétration racinaire est bonne. Aucune différence notable n'a été observée qui puisse être imputable à une mise en culture.

En conclusion, on peut dire que les techniques culturales actuellement utilisées n'ont que peu d'influence sur les caractéristiques morphologiques des profils. Seules une diminution du volume des vides entre agrégats (macroporosité) et une tendance à une structure moins nette (due à un certain tassement) ont pu être observées. Mais il ne faudrait pas conclure que, dans le cas de cultures intensives mécanisées, aucune modification morphologique n'interviendrait. L'emploi d'instruments aratoires lourds amène des modifications beaucoup plus nettes surtout si le moment n'est pas opportun (sol mal ressuyé par exemple) ; des destructions irréversibles touchant à la structure, à la perméabilité, peuvent se produire.

b) Caractéristiques physico-chimiques et leurs interprétations

Au cours de cette étude, il a été tenté de comparer les valeurs de quelques caractéristiques physiques et chimiques qui apparaissaient comme essentielles et qui pouvaient donner une idée assez exacte des changements dûs à la modification d'un certain équilibre par l'introduction d'une culture. Ont été ainsi retenus : densité apparente, indice d'instabilité structurale, porosité et réserves hydriques pour l'aspect physique ; carbone, azote, phosphore total, pH et éléments échangeables pour l'aspect chimique ; l'activité biologique totale, avec un dégagement de CO^2 in situ a été également mesurée. Le test de Student-Fisher a été utilisé pour contrôler le degré de signification de ces résultats chiffrés.

Dans le tableau 38, les moyennes des données obtenues pour l'ensemble des parcelles-témoins et des parcelles-cultures, ainsi que les valeurs de « t », ont été reportées.

La lecture de ce tableau montre que, dans l'ensemble, les variations enregistrées ne sont pas significatives. Ainsi l'activité biologie totale a augmenté sous culture ; on peut attribuer cette amélioration, qui n'est peut-être que passagère, au travail du sol ; ce dernier a remué l'horizon de surface en mélangeant les différents constituants du sol aux résidus végétaux provenant du nettoyage du champ et des précédentes cultures ; cela a pu créer une activité biologique plus importanter qui serait à l'origine, en partie du moins, de la diminution d'azote constatée par les comparaisons des résultats d'analyses. D'autre part, pour les sols hydromorphes de Lakéba, une aération certaine due au drainage a pu entraîner une amélioration de l'activité biologique.

Les variations de la densité apparente sont faibles et, bien qu'elles soient presque significatives, cela n'a que peu d'importance car la porosité qui lui est liée est forte (60-70 %). Du fait de ces valeurs élevées, le risque d'engorgement

disappearance of the structure, which dissolves when the soil is saturated by water from a water table very close to the surface. However, as soon as the soil is allowed to dry out, a clear fine to medium blocky structure reappears. Root penetration was good. There were no marked differences which could be attributed to the effects of cultivation.

In conclusion, present methods of cultivation may be said to have only a slight influence on the morphological characteristics of the profiles. The only differences noted were decreased macroporosity and a tendency for the structure to be weaker (due to a certain amount of crushing). However, it should not be concluded that in the case of intensive mechanized cultivation no changes in morphology would occur : heavy farm implements produce much more distinct changes, especially if the time chosen is not suitable (soil not properly dried out, for example), and may even cause irreversible damage to the structure and porosity of the soil.

b) Physico-chemical characteristics and their interpretation

In the course of this study, an attempt was made to compare the values of a few vital physical and chemical characteristics capable of providing an accurate indication of changes arising from the modification of a given equilibrium by the cultivation of a crop. For this purpose, the physical properties chosen were bulk density, the index of structural instability, porosity and water reserves ; the chemical ones were carbon, nitrogen, total phosphorus, pH and exchangeable bases ; in addition, the total biological activity was measured in terms of the emission of CO_2 in situ. Student-Fisher's t test was used to verifiy the degree of significance of the findings.

Table 38 sets out the averaged results of all plots (taro plots and control plots) and the value of « t ». The table shows that, on the whole, the recorded differences were not significant. Total biological activity increased under cultivation but the improvement, which might not be lasting, can be explained by the fact that the soil had been tilled : this would have disturbed the upper horizon by mixing the components of the soil with plant residue from clearance operations and the preceding crops and prompted greater biological activity. The latter would be at least partly responsible for the lower nitrogen levels noted when the results of analysis were compared. In the hydromorphic soils of Lakeba, on the other hand, greater biological activity may be due to ventilation as a result of drainage.

The differences in bulk density were small and, although almost significant, not very important since its associated porosity was high (60-70 %). The high porosity limits the risk of temporary waterlogging for soils on the slopes of Taveuni even at times of heavy rain, and no such waterlogging was observed during the study.

The similar and parallel reduction in carbon and nitrogen levels has no effect on natural fertility since their levels in these soils are generally high.

No other characteristics changed and the differences in absolute figures were in all cases small.

1.3 - Discussion and conclusion

Even though the amount of data was limited because so few sites were investigated, it seems that the manual cultivation of taro as practised today, even on a continuous basis, has not yet affected the natural fertility of these soils, at least to a significant extent. This is the conclusion reached from examination of the profile morphology and interpretation of the measurements and analyses carried out. There is a risk, however, that the ferrallitic soils (humic ferralsols), with their more limited

Tableau 38. — Comparaison entre les caractéristiques physiques et chimiques des sols sous culture de taro et sous végétation naturelle

Table 38. — Comparison of physical and chemical characteristics of soils under taro and under natural vegetation

Profondeur *Depth*	Caractéristiques *Characteristics*	Témoin *Control plot*	Culture *Taro plot*	Valeur de « t » *Value of « t »*	Probabilité P *Probability P*	Signification *Significance*
Horizon 0 - 15 cm	Carbone total %/*Total carbon*	6,12	5,70	t = — 1,397	0,22	NS
	Azote total %/*Total nitrogen*	5,02	3,61	t = — 1,351	0,22	NS
	C/N	12,1	12,1	t = 0	—	NS
	pH eau/*water*	5,35	5,35	t = 0	—	NS
	pH Kcl	4,91	4,83	t = 0,566	0,60	NS
	P_2O_5 total %	1,784	1,872	t = + 0,55	0,60	NS
	Bases échangeables mé/100 g	13,83	16,51	t = + 1,748	0,13	NS
	Ca^{++} échangeable mé/100 g	5,55	6,50	t = + 1,07	0,33	NS
	Mg^{++} échangeable mé/100 g	3,67	4,03	t = + 1,11	0,30	NS
	K^+ échangeable mé/100 g	0,23	0,19	t = — 0,974	0,35	NS
	Densité apparente/*Bulk density*	0,64	0,71	t = + 1,795	0,12	NS
	Porosité %/*Porosity*	76,0	72,9	t = — 2,306	0,05	S +
	Instabilité structurale I_S/*Structural instability*	0,08	0,055	t = — 0,155	0,85	NS
	Dégagement CO_2 in situ/*Emission of CO_2 in situ*	193,2	248,7	t = + 2,11	0,08	S

$P < 0,10$ S
$P < 0,05$ S +

temporaire dans les sols de pente de Taveuni, même par fortes pluies, est limité et n'a pas été observé au moment de cette étude.

La diminution similaire et parallèle des taux de carbone et d'azote n'entraîne pas une modification de la fertilité naturelle ; cela provient en fait des taux généralement élevés que l'on observe dans de tels sols pour ces deux éléments.

Enfin les autres caractéristiques n'ont été marquées par aucun changement et leurs variations restent toujours faibles en valeur absolue.

1.3 - Discussions - Conclusion

En dépit du petit nombre de données que nous possédons du fait du nombre réduit de sites, il semble donc que la culture telle qu'elle est pratiquée même en continue, n'a pas affecté jusqu'à présent la fertilité naturelle de ces sols, du moins dans des proportions significatives. C'est ce qui ressort des études portant sur la morphologie des profils et de l'interprétation des mesures et analyses. Il est à craindre toutefois que les sols ferrallitiques (humic ferralsols), vu leur plus faible réserve en éléments minéraux et en particulier en bases, ne s'épuisent plus rapidement que les andosols.

Cette absence d'évolution significative des caractéristiques de ces sols sous culture manuelle de taro répétée semble tenir à deux causes principales : la richesse exceptionnelle des sols de Taveuni et un alluvionnement régulier sur les gleysols de Lakéba.

La richesse exceptionnelle des sols de Taveuni a été mise en évidence au cours de l'étude de cette île. Elle tient tant à une forte teneur en matière organique du sol qu'à d'importantes réserves minérales. La matière organique, dans ces sols est très intimement liée à la matière minérale comme cela a été montré aux Antilles et en Amérique du Sud (COLMET-DAAGE 1965, 1967, 1970) et aux Nouvelles-Hébrides (1972). Sa minéralisation est plus lente que dans la majorité des sols tropicaux. Ces sols possèdent par ailleurs des réserves minérales très importantes ; *reserves of mineral nutrients and especially bases, will become exhausted more quickly than the andosols.*

The absence of any significant changes in the characteristics of soils under the repeated manual cultivation of taro seems to spring from two main factors : the exceptional richness of Taveuni soils and the regular alluvial deposits on the Gleysols of Lakeba.

The exceptional richness of Taveuni's soils was brought out in our study of that island. It owes as much to the high proportion of organic matter as to the large reserves of minerals. In these soils organic matter, as in the West Indies and South America (COLMET-DAAGE 1965, 1967, 1970) and in the New Hebrides (1972), is closely associated with mineral elements and mineralizes more slowly than in most tropical soils. These soils, moreover, possess very large reserves of minerals, and this is true not only for the traditionally rich andosols but for the ferralsols of Northern Taveuni too. Though the fine-grained fraction of the latter soils is composed almost entirely of aluminium and iron sesquioxides, the coarser part contains many basalt fragments which continue to yield their minerals throughout the process of weathering.

Thus the soils of Taveuni have a high level of natural fertility which is maintained after the introduction of crops. This does not, of course, mean to say that fertility will not eventually fall to some extent if this system of cultivation is pursued indefinitely, but it does not at present appear to suffer from current cropping practices.

As for Lakeba, the taro plots are located in the valley bottoms and are regularly flooded during heavy rain. In these swamps, very high sedimentation rates were noted (over 1 mètre 1000 years). In most cases, the swamps lie across the outlet of catchments now under forest and are therefore regularly covered with fertile alluvium. Some of the sub-coastal swamps, however, such as the one at Levuka, are at the foot of talasiga-covered catchments and hence have a much lower natural fertility. It appears then that the fertility of Lakeba's taro areas is renewed by regular alluvial deposits when floods occur.

ceci concerne tant les andosols, pour lesquels c'est une caractéristique classique, que les ferralsols du Nord de Taveuni. Dans ces ferralsols en effet, si la fraction fine est presque entièrement constituée de sesquioxydes d'aluminium et de fer, on observe dans la fraction grossière de nombreux cailloux de basalte qui cèdent régulièrement des éléments minéraux au cours de leur altération.

Ainsi les sols de Taveuni ont une fertilité naturelle importante et qui se prolonge dans le temps après la mise en culture. Cela ne veut pas dire bien évidemment qu'elle ne subira pas une baisse plus ou moins importante dans l'avenir si ce système cultural se prolonge indéfiniment. Elle ne semble pas toutefois actuellement atteinte par les cultures telles qu'elles sont pratiquées.

Les sols cultivés en taro sur Lakéba se trouvent pour leur part dans des fonds de vallée et sont régulièrement soumis à des inondations lors des fortes pluies. Des taux de sédimentation très importants ont pu être notés dans ces marécages (supérieurs à 1 mètre en 1000 ans). Ces zones marécageuses se trouvent le plus souvent au débouché de bassins versants dont la végétation actuelle est la forêt et sont ainsi recouverts régulièrement par des alluvions fertiles. Il est à noter que certaines zones marécageuses subcôtières, comme celle de Lévuka, qui sont au débouché d'un bassin versant sous talasiga ont une fertilité naturelle bien moindre. Il semble donc que dans les zones cultivées en taro à Lakéba, on assiste à un renouvellement de la fertilité par des alluvionnements réguliers au cours des crues.

Ainsi l'absence de signe notable d'évolution dans les sols sous culture manuelle de taro à Taveuni et à Lakéba tient à l'exceptionnelle richesse de ces terrains. Cette richesse, contrairement à celle de beaucoup de sols tropicaux, apparaît relativement solide. Cela est dû à la nature des sols de Taveuni et à un réenchissement constant des sols des plaines de Lakéba. Il est certain toutefois que ce système fonctionne dans le cadre d'une culture manuelle semi-intensive. On ne peut préjuger des résultats obtenus sous culture mécanisée, intensive. Des problèmes de tassement, d'érosion superficielle sur les pentes de Taveuni ou d'épuisement trop rapide sur les sols de Lakéba pourraient se poser.

Un équilibre existe donc actuellement entre les cultures de taro telles qu'elles sont pratiquées et la régénération de la fertilité des sols sur ces deux îles. Une modification des modes de culture risque toutefois de détruire cet équilibre. Pour valider nos conclusions et les déductions qui en découlent, il serait souhaitable que des études identiques aient lieu sur un nombre de sites plus important et cela pendant plusieurs années de suite ; elles porteraient à la fois sur les méthodes de culture traditionnelle et sur celles qui pourraient être utilisées dans l'objectif d'une intensification des productions et d'une augmentation des surfaces cultivables.

The fact that the Taveuni and Lakeba soils under manually cultivated taro show no marked signs of evolution may be attributed to their exceptional richness which, unlike many other tropical soils, appears to be quite firmly established. On Taveuni, this is due to the nature of the soils and, on the plains of Lakeba, to regular inputs. There is no doubt that the system works well for semi-intensive manual cultivation but it is impossible to foresee the effects of intensive mechanized cultivation. On Taveuni, the latter might crush the soil and cause problems of surface erosion from the slopes and, on Lakeba, problems of over-rapid exhaustion of the soil.

The cultivation of taro by current methods is in harmony with the renewal of soil fertility on these two islands. But the present equilibrium could be destroyed by new crop-raising techniques. It would be useful to verify our conclusions and their implications by extending these surveys to a larger number of sites over several successive years. These studies would examine both traditional methods and other possibilities that could be devised to expand production and increase the area under cultivation.

2 - NOTE SUR LE RENDEMENT DU TARO

En 1975, on a entrepris au titre du projet des mesures de rendement de taro à Taveuni avec la collaboration de M. P.H. HAYNES de la FAO ; par la suite, en janvier 1976, celui-ci s'est joint momentanément à l'équipe pour procéder à des mesures analogues à Lakéba et pour compléter son analyse des données de Taveuni, M. HAYNES se trouve actuellement en Afrique et cette note est écrite en son nom ; l'auteur a participé à l'ensemble de l'opération de Taveuni et participé à la sélection initiale des sites de Lakéba avec M. HAYNES. Les détails complets sont publiés dans le document de travail n° 4 du projet

2 - A NOTE ON TARO YIELDS

In 1975 the project undertook some measurement of taro yields in Taveuni in collaboration with Mr M.H. HAYNES of FAO : in January 1976, Mr HAYNES briefly joined the project team in order to conduct similar measurements also on Lakeba, and to complete his analysis of the Taveuni data. Mr HAYNES is now in Africa, and this note is written on his behalf ; the writer participated in the whole of the Taveuni exercises and joined Mr HAYNES in the initial selection of sites on Lakeba. Full details are published in Project Working Paper No. 4 (HAYNES 1976) and the following is a summary and comment.

(HAYNES, 1976), dont on trouvera ci-après le résumé, assorti de commentaires.

A Taveuni, le taro est cultivé pour être vendu à Suva par l'intermédiaire de la « National Marketing Authority » ainsi que comme denrée de subsistance. A Lakéba, il n'est cultivé que pour la subsistance. A Taveuni, toutes les exploitations se font sur terrain sec et sont dominées par une variété qui a du succès du point de vue commercial ; à Lakéba, le taro est en général cultivé sur des marécages drainés ou des parcelles irriguées (M. BROOKFIELD, dans le présent volume), et toutes nos mesures ont été faites sur ces sites. Ces mesures ont eu lieu 12 mois seulement après le passage d'un grand cyclone qui a détruit les cultures par inondation ; il se peut, d'après les essais ultérieurs, que ces sites ne soient pas représentatifs et que le nombre restreint des variétés cultivées s'explique par le manque de matériel végétal normal, d'où des rendements plus faibles. On s'est cependant efforcé d'obtenir, dans les deux îles, du taro qui n'avait plus qu'à être récolté. La récolte a été achetée aux cultivateurs et, une fois sa densité mesurée, ramassée par le personnel du projet et pesée. Elle a été ensuite revendue ou donnée aux hôpitaux de l'île. On s'est efforcé d'obtenir des échantillons importants, mais cela s'est révélé difficile même à Taveuni et impossible à Lakéba.

Taveuni

Quatre des cinq sites où ont été faites les mesures se trouvaient dans des zones dont la carte pédologique avait été établie par DENIS — deux au sud de l'île et deux an nord.

Sites du sud

Le premier site choisi était sur des andosols molliques avec des lapillis près du pied d'une colline couverte d'andosols molliques fortement ravinés. Le sol est considéré comme présentant une potentialité agrologique moyenne. Cette parcelle avait été continuellement cultivée depuis près de 10 ans, mais pas toujours en taro ; la récolte acquise par le projet était la dernière d'un cycle et la parcelle était toujours en friche 15 mois après, à la fin du séjour de l'équipe du projet. Le poids moyen de tubercules frais n'était que de 9,34 tonnes à l'hectare (S.D. 1,57) et le poids sec de 3,06 tonnes à l'hectare, le rendement de la plante, feuillage compris étant de 26,2 t/ha (écart-type 4,83). Ce rendement est le plus faible de tous ceux qui ont été mesurés. Le second site se trouvait en altitude sur un andosol humique phase profonde, de potentialité moyenne, mais sujet à une plus grande influence de la nébulosité et de la pluviosité. Ce terrain avait donné une première récolte depuis qu'il avait été défriché ; auparavant, il était recouvert de broussailles secondaires depuis au moins 30 ans. Le poids moyen de tubercules frais était de 22,02 t/ha (écart-type 4,75), le poids sec de 6,98 t/ha et le rendement de la plante feuillage compris de 39,9 t/ha (écart-type 10,14). Cette culture a été suivie par celle du yaqona, bien implantée une année plus tard.

Les sites du nord

Les deux sites du nord se trouvaient à l'intérieur à environ 300 m d'altitude dans des concessions gagnées sur la forêt au cours des dernières années. Le premier se trouvait sur un sol cultivé depuis 4 ou 5 ans, situé sur le versant d'une vallée abrupte à ferralsols humiques. Le poids moyen de tubercules frais était de 15,78 t/ha (écart-type 9,23), le poids sec de 5,95 t/ha et le rendement de la plante feuillage compris de 33,3 t/ha (écart-type 12,21). Le second site se trouvait sur un éperon montagneux, récemment gagné sur la forêt ; c'était la première récolte après qu'on eut laissé l'humus se décomposer dans le sol pendant quelque 18 mois. Ce site se trouvait lui aussi

Taro is grown in Taveuni for sale to Suva through the national Marketing Authority, as well as for subsistence; in Lakeba it is grown for subsistence only. All cultivation in Taveuni is on « dry » land and dominated by a commercially popular cultivar; in Lakeba most taro is grown in drained swamps or irrigated plots (M. BROOKFIELD, this volume), and all our measurements were made in these sites. The Lakeba measurements were made only 12 months after a major cyclone had devastated the crop by flooding; from subsequent experience it seems possible that the sites were un-representative, and that restricted range of cultivars was due to lack of normal planting material, with the effect of depressing yields. In both islands, however, efforts were made to obtain taro which was ready for harvest. The crop was bought from the farmers and after spacing had been measured, was lifted from the ground by project employees and weighed. It was then either sold, or given to the island hospitals. Large samples were sought, but this proved difficult even in Taveuni and impossible in Lakeba, where samples had to be of smaller size.

Taveuni

Four of the five sites measured were within the areas subjected to soil mapping by Denis, two in the south of the island and two in the north.

Details follow:

Southern sites

The first site selected was on mollic andosols with lapilli close to the footslope of a hill mantled by steeply-dissected mollic andosols. The land was classed as of average capability. This plot had been continously worked for almost a decade, though not always under taro: the crop lifted by the project was the last in the sequence, and the plot remained under fallow until after the project finally left the field 15 months later. The mean corm fresh weight was only 9.34 t/ha (S.D. 1.57), the dry weight 3.06 t/ha, and the whole plant yield 26.2 t/ha (S.D.) 4.83). This was the lowest site yield measured.

The second site was at higher altitude on a deep phase of humic andosol, again of average capability, but subject to greater incidence of cloud and rain. The land had been cropped once previously since being cleared, and before that had been under re-growth bush for at least thirty years. The mean corm fresh weight was 22.02 t/ha (S.K. 4.75), the dry weight 6.98 t/ha, and the whole plant yield 39.9 t/ha (S.D. 10.14). The crop was succeeded by yaqona which was well established a year later.

Northern sites

Both the northern sites were inland at about 300 m on land-settlement schemes cleared from forest in recent years. The first was on land cultivated for some four or five years, on a steep valley side on humic ferralsols. Mean corm fresh weight was 15.78 t/ha (S.D. 9.23), the dry weight 5.95 t/ha, and the whole plant yield 33.3 t/ha (SW:WD: 12.21). The second site was on a sloping spur, recently cleared from forest, and was a first crop taken after the humus had been allowed to rot into the soil for some 18 months. The site was again on humic ferralsols, on land classed as of good capability. Mean corm fresh weight was 26.01 t/ha (S.D. 7.19), the dry weight 8.93 t/ha and the whole plant yield 87.4 t/ha (S.D. 27.15). The latter represents primary production of a remarkably high order in the absence of any fertilizer application, and is by far the highest taro yield recorded in Fiji ; it is exceeded in few measurements made anywhere (BAYLISS-SMITH 1979).

The fifth site had a lower yield, with a fresh corm weight of 12.75 t/ha, a dry weight of 4.19 t/ha, but a whole plant yield of

sur des ferralsols humiques, sur un terrain considéré comme ayant une bonne capacité. Le poids moyen des tubercules frais était de 26,01 t/ha (écart-type 7,19), le poids sec de 8,93 t/ha et le rendement de la plante feuillage compris de 88,4 t/ha (écart-type 27,15). C'est là, pour une première récolte, un rendement particulièrement élevé en l'absence de toute application d'engrais ; c'est le rendement de taro le plus élevé enregistré aux Fidji ; ailleurs, il n'est dépassé que rarement (BAYLISS-SMITH, 1979).

Le cinquième site avait un rendement moins élevé, avec un poids de tubercules frais de 12,75 t/ha, un poids sec de 4,19 t/ha, mais un rendement de la plante feuillage compris de 40,6 t/ha. Le site se trouvait sur des alluvions rocailleuses, dans une zone très humide à forte nébulosité, où les rendements de coprah étaient extrêmement faibles. Depuis 20 ans, le terrain servait à des plantations de cocotiers et c'était la première fois qu'on y cultivait du taro.

Discussion

Il n'est pas facile de tirer des conclusions de ces données, malgré tout le soin avec lequel elles ont été collectées et analysées. Il n'y a vraisemblablement pas de corrélation évidente avec les types de sols dans des conditions que compliquent le passé cultural et de fortes variations de pluviosité et de nébulosité. Il est possible, comme l'a suggéré ailleurs DENIS (1978), que les allophanes présents en grande quantité dans les andosols du sud de Taveuni aient pour effet de retenir les éléments nutritifs, qui sont au contraire plus facilement libérés par les ferralsols du nord. Cela peut expliquer les différences relevées entre le second et le quatième site, dont le passé cultural, la topographie et la nébulosité sont proches. Mais faute de données plus abondantes et de mesures réitérées, il n'est pas possible de tirer de conclusions sûres de ces données. Tout ce que l'on peut dire c'est qu'au moins une partie des sols récemment défrichés de Taveuni ont une productivité primaire potentielle extrêmement élevée et que celle-ci se maintient à des niveaux tout à fait satisfaisants même après plusieurs années de culture et/ou dans des sites moins favorables.

Lakéba

On ne peut en dire autant des données de Lakéba : tous les sites se trouvaient dans des marécages et la représentativité des données est sujette à caution en raison des effets du cyclone de 1975. Le poids moyen des tubercules frais allait de 10,30 à seulement 29,42 t/ha, et le poids sec de 1,70 à 8,20 t/ha, ce dernier chiffre pouvant se comparer aux rendements les plus élevés de Taveuni. En revanche, la moyenne des rendements de la plante, feuillage compris, ne se situe qu'entre 29,75 et 42,11 t/ha et les écarts-types y sont plus faibles qu'à Taveuni pour presque toutes les valeurs. Etant donné l'uniformité des conditions de plantation et des variétés utilisées, ces variations tiennent sans doute à des facteurs culturaux tels que la gestion de l'eau, ou bien sa disponibilité. Les moyennes d'insolation sont plus élevées qu'à Taveuni et il se peut que la productivité potentielle de ces marécages soit sous-estimée dans ces données.

CONCLUSION

Il n'a pas été procédé à des mesures systématiques du rendement d'autres cultures, et bien que l'on ait obtenu une quantité considérable de données concernant le rendement du coprah à Taveuni en faisant le rapport entre la superficie des

40.6 t/ha. The site was in bouldery alluvium in a very wet and cloudy area, where copra yielded exceedingly badly. The land had been planted to coconuts for 20 years, but not previously cropped for taro.

Discussion

It is not easy to draw conclusions from these data, carefully though they were collected and analysed. No obvious correlation with soil type is likely in a situation also complicated by previous cultivation history, and by wide variations in rainfall and cloudiness. It is possible, as DENIS (1978) has elsewhere suggested, that the allophanes present in large quantities in the andosols of southern Taveuni have the effect of retaining nutritive elements, while nutrients are released more readily from the ferralsols in the north. This might account for the contrast between the second and fourth sites, which have a not-dissimilar cultivation history, topographic location and cloudiness. Without more widespread data, and replicated measurements, it is not however possible to draw any firm inferences from these data. All that can be said that at least some of the newly-cleared soils of Taveuni have extraordinarily high potential primary productivity and that this retained at quite tolerable levels even after several years of cultivation, and/or in less favourable sites.

Lakeba

Less can be said of the Lakeba data, where all sites are in swamps, and where there is some doubt concerning representativeness due to the effects of the 1975 cyclone. Mean fresh corm weights ranged from 10.30 to only 29.42 t/ha, with corresponding dry weights from 1.70 to 8.20 t/ha, the latter value being comparable with the highest Taveuni yields. The mean of whole plant yields, however, ranged only from 29.75 to 42. 11 t/ha and standard deviations are smaller than in Taveuni for almost all values. Given the uniform planting conditions, and the uniformity of cultivars, the range is probably influenced by cultural factors such as water management, or by water availability. Sunshine averages are higher than in Taveuni, and the potential productivity of these swamps may be somewhat under-represented in the data.

CONCLUSION

No firm yield measurements were made of other crops, and although a considerable quantity of data concerning copra yields was obtained in Taveuni by relating coconut area to production, no data on age of trees were obtained by units

cocoteraies et leur production, on ne dispose d'aucune donnée sur l'âge des arbres pour des unités inférieures aux domaines entiers. Le rendement va de moins de 0,1 ha à plus de 1,0 t/ha, mais ces données se fondent sur les ventes de coprah et non sur les récoltes de noix de coco ; or, celles-ci peuvent être utilisées en partie pour l'alimentation, et les données sur les ventes de coprah font apparaître de très grandes différences, selon les cultivateurs, dans la fréquence de récolte des noix de coco et de fabrication du coprah (BROOKFIELD et HARDAKER, 1978).

Chacun sait qu'il est difficile d'interpréter des données sur le rendement obtenu dans des conditions réelles de culture, par suite du grand nombre de variables inconnues qui peuvent influer sur les résultats ; rien ne remplace l'expérience contrôlée où les conditions de culture et de récolte sont normalisées et des données sur les conditions météorologiques simultanément réunies sur le site. Ce genre d'expériences exige beaucoup de main-d'œuvre et dépasse de loin les ressources affectées au projet.

smaller than whole estates. Yields ranged from below 0.1 t/ha to over 1.0 t/ha, but these data are based on copra sold, not on coconuts harvested; a proportion of nuts might be used for food, and the copra sale data indicate that there is very great variability between growers in the frequency with which nuts are collected and copra is made (BROOKFIELD and HARDAKER, 1978).

Yield data obtained under actual growing conditions in the field are notoriously difficult to interpret because of the large number of unknown variables that may influence results : there is no substitute for the controlled experiment under which cultivation and harvesting conditions are standardized, and data on meteorological conditions are simultaneously collected at the site. Such work is very demanding of labour, and was far beyond the resources of the present project.

Conclusion

ÉCOLOGIE ET DÉVELOPPEMENT

Conclusion

ECOLOGY AND DEVELOPMENT

L'étude de ces milieux, de leur utilisation et de leur évolution sous l'influence humaine pose le problème de leur avenir. Continueront-ils à se dégrader comme le craignent de nombreux auteurs (FOSBERG 1965, STRONG 1975) ou s'établiera-t-il un équilibre entre la pression humaine et l'environnement ? Cette dernière proposition soulève la question de leur gestion rationnelle et de la mise en œuvre de programmes de développement adaptés s'inspirant des principes proposés par la Commission du Pacifique Sud (C.P.S. 1977) : « assurer une bonne gestion de l'environnement océanien de manière à garantir les ressources nécessaires pour répondre aux besoins présents et futurs et maintenir la qualité de la vie des populations de la région ».

La partie écologique du projet UNESCO/UNFPA a permis de fournir un certain nombre de réponses tant en ce qui concerne les ressources potentielles de ces îles et leur utilisation passée et présente qu'en ce qui concerne l'influence de cette utilisation sur l'environnement.

Study of these environments, of how they are used and of man's influence on their evolution naturally evokes the problem of their future. Will, as many specialists fear (FOSBERG 1965, STRONG 1975), degradation continue or will a new equilibrium between human pressures and the environment come into being ? The latter alternative raises the question of rational management and the implementation of appropriate programmes of development based on the principles proposed by the South-Pacific Commission (SPC 1977) : « ... to ensure the proper management of the Oceanian environment so as to guarantee the necessary resources to meet present and future needs and safeguard the quality of life of the populations in the region ».

The ecological part of the UNESCO/UNFPA project has provided an opportunity to obtain some information on the potential resources of these islands, how they have been and are being used, and on the impact of man's activities on the environment.

1 - UN MILIEU TRES COMPLEXE

L'étude monographique des cinq îles visitées (Lakéba, Taveuni, Kabara, Batiki et Nairai) a montré leur grande diversité écologique. Ces îles diffèrent par leur climat, par l'âge et la nature de leur formation géologique, par les résultats de leur évolution géomorphologique et par la nature de leur sol et de leur couvert végétal. Cette variété surprend dans un archipel où l'on a l'habitude de traiter des deux îles principales, Viti Levu et Vanua Levu et des petites îles d'une façon générale. Elle accentue l'idée déjà connue de diversité du monde océanien (THOMAS 1965). A la distinction souvent retenue dans le Pacifique entre les îles continentales, les îles volcaniques hautes et les îles basses, elle ajoute la dimension supplémentaire d'une grande variété au sein de ces groupes. Taveuni se présente comme une île volcanique haute d'âge très récent et soumise à un climat per-humide, Lakéba comme une île volcanique ancienne arasée et assujettie à un climat beaucoup plus contrasté avec de longues périodes de sécheresse irrégulières, Nairai et Batiki comme deux petites îles volcaniques d'âge relativement récent et Kabara comme un atoll surélevé couvert d'une forêt très fragile. La complexité de ces îles reflète probablement celle de l'ensemble des petites îles orientales de l'archipel.

1 - A HIGHLY COMPLEX ENVIRONMENT

This monograph on the five islands visited (Lakeba, Taveuni, Kabara, Batiki and Nairai) has brought out their great ecological diversity. The islands differ in climate, in the age and type of their geological formations, in the outcome of geomorphological evolution, and in the nature of their soils and plant cover. Such variety comes as a surprise in an archipelago for which the usual approach is to deal with the two main islands, Viti Levu and Vanua Levu, and the smaller islands in one comprehensive sweep. It emphasizes the already acknowledged diversity of Oceania (THOMAS 1965). In the Pacific, it is common to distinguish between continental islands, high volcanic islands and low-lying islands, but this study had added a further dimension, namely, the wide variety within these categories. Taveuni emerges as a very recent high volcanic island with a perhumid climate, Lakeba as an ancient volcanic island which has been worn down and has a much more contrasted climate with long irregular periods of drought, Nairai and Batiki as two relatively recent small volcanic islands and Kabara as an uplifted atoll covered by a highly fragile forest. The complexity of these islands is probably representative of the small eastern islands of Fiji in general.

2 - LES TÉMOINS DE L'UTILISATION ANCIENNE

Les témoins de l'utilisation ancienne des terres de ces îles sont de deux ordres :

— des sites archéologiques

— et la reconstitution de l'histoire de la sédimentation dans les marécages de Lakéba.

Les premiers indiquent une occupation ancienne des collines et points hauts et une probable activité agricole intense autour de ces sites. Certains de ces sites seraient d'ailleurs restés en activité jusqu'à une période très récente comme à Taveuni (H.C. BROOKFIELD 1978). L'implantation de ces villages dans les hauteurs de Lakéba et de Taveuni ainsi probablement que de Nairai, de Batiki et de Kabara a très certainement été un facteur de déforestation et d'augmentation de l'érosion.

L'histoire de la sédimentation dans les marais de Lakéba et en

2 - EVIDENCE OF LAND USE IN ANCIENT TIMES

Evidence of man's use of the land on these islands in ancient times is obtained from two sources :

— archaeological sites

— the reconstruction of the history of sedimentation in the Lakeba swamps.

Archaeological research indicates ancient settlements on the hills and uplands and probably intensive agricultural activity in their vicinity. Indeed, some of them - on Taveuni, for example (H.C. BROOKFIELD 1978) — have remained in use until very recent times. The establishment of villages on the uplands of Lakeba and Taveuni and probably on Nairai, Batiki and Kabara too, has without doubt contributed to deforestation and increased erosion.

The history of sedimentation in the swamps of Lakeba, and

particulier dans celui de Waitabu confirme qu'une activité agricole intense a eu lieu sur les pentes de l'île dans les temps préhistoriques. Sur le marais de Waitabu, on note des dépôts très importants entre 2000 et 900 BP, dépôts qui ne peuvent correspondre qu'à une érosion sur un bassin versant fortement cultivé. Au cours des 900 dernières années, il semble par contre que l'érosion se soit ralentie dans ce secteur. Mais l'érosion actuelle serait toujours supérieure sur Lakéba à la pédogénèse et tendrait encore à favoriser la poursuite de la troncature des sols. Etant donné la morphologie des sols, des données comparables devraient être trouvées sur la colline volcanique de Kabara, sur Nairai et sur Batiki. Il apparaît par contre plus difficile de se prononcer pour Taveuni vu l'extrême jeunesse des profils pédologiques.

Il semble donc qu'après une période d'intense dégradation du milieu, jusqu'à il y a environ 1000 ans, l'érosion se poursuive de nos jours mais à un rythme moindre. Les explications de cette baisse de l'érosion peuvent être de trois ordres :

— l'érosion après avoir déblayé dans un premier temps la partie meuble des profils de sol, s'attaque maintenant à des horizons pédologiques plus proches de la roche et donc plus compacts,

— soit on a assisté dans ces îles à une baisse notable de la population et donc de ses activités agricoles,

— soit enfin et c'est ce que semblent accréditer les preuves archéologiques, une migration de la population s'est effectuée des hauteurs vers la côte.

particularly in that of Waitabu, confirms that there was intense agricultural activity on the island's slopes in prehistoric times. Between 2000 and 900 BP, the Waitabu swamp received very large deposits which could only have been produced by erosion from a heavily cultivated catchment. Over the last 900 years, however, erosion appears to have slowed down in this swamp but on Lakeba generally it still exceeds pedogenesis and thus tends to provoke further truncation of the soils. Judging from the morphology of their soils, the volcanic hill on Kabara and the islands of Nairai and Batiki can be expected to yield similar data, whereas the extreme youth of the pedological profiles on Taveuni makes it more difficult to offer an opinion.

In short, erosion seems to have caused intense degradation of the environment until about 1000 years ago and now continues at a slower pace. There are three possible reasons why erosion has slackened :

— having swept away the looser part of the soil profiles in its initial phase, erosion is now attacking pedological horizons which are closer to bedrock and hence more compact ;

— or, the population of these islands fell considerably and brought about a decline in agricultural activity ;

— or again — and this seems to be borne out by archaeological evidence — the population gradually moved from the uplands to the coast.

3 - L'UTILISATION ACTUELLE DES RESSOURCES DE CES ÎLES

L'utilisation actuelle de ces milieux très divers apparaît relativement monotone et extensive. Le cocotier occupe la grande majorité des bonnes terres. Cette cocoteraie est ancienne et relativement peu rentable même si sa productivité reste assez élevée suivant les normes courantes dans le Pacifique (0,7 tonne/ha/an). Cette occupation des meilleures terres par la cocoteraie favorise indirectement la dégradation du milieu. Elle pousse en effet les agriculteurs à cultiver, pour leurs besoins vivriers, les pentes forestées, après défrichement et brûlis et provoque un accroissement de l'érosion et un appauvrissement des sols. Cependant l'effet de ce mode de culture itinérante sur le milieu peut probablement être réduit lorsque les temps de jachère sont suffisants. Cela paraît en particulier avoir été le cas au cours des 900 dernières années à Lakéba. L'érosion est alors modérée. Mais lorsque ces temps de jachère diminuent par manque de terrain comme c'est le cas à Kabara, à Batiki et dans certains secteurs de Lakéba et de Nairai, l'érosion peut prendre des dimensions catastrophiques. Elle peut, comme c'est le cas sur la colline de Kabara, réduire le potentiel de production des terres à très peu de chose.

A côté de ces cultures itinérantes, la présence de zones marécageuses sur Lakéba a favorisé le développement des cultures de taro irriguées. Ces marais qui bénéficient d'un alluvionnement régulier venant des bassins versants, permettent l'entretien de cultures avec des temps de jachère très courts.

Par ailleurs, parallèlement à cette exploitation du milieu que l'on pourrait qualifier de traditionnelles, depuis quelques années de nouvelles spéculations agronomiques se sont développées sur ces îles.

L'élevage et les pâturages sous cocotier ont pris sur Taveuni une grande extension. Ils tendent actuellement à se développer sur Lakéba et à un moindre degré sur Batiki. Cet élevage est actuellement pratiqué de façon très extensive souvent sans

3 - PRESENT USE OF THESE ISLANDS' RESOURCES

At present, these highly varied environments are used for a rather uniform and extensive agriculture. Coconut plantations occupy most of the good land, but the palms are old and relatively unprofitable even though yields are still quite high by normal standards in the Pacific (0.7 tons/ha/year). The fact that the best land is under coconuts indirectly furthers degradation of the environment since cultivators are driven to grow their vital food crops on forested slopes which they first clear and burn, and this speeds up erosion and impoverishment of the soil. This said, the effects on the environment of this type of shifting cultivation can probably be reduced by sufficiently long fallow periods. This, in particular, seems true of Lakeba over the last 900 years. In such cases erosion is moderate. But when fallows are cut short through shortage of land — as on Kabara, Batiki and certain parts of Lakeba and Nairai — erosion can take catastrophic proportions and, as on Kabara's hill, reduce the agricultural potential of the land to almost zero.

In addition to this shifting cultivation, the existence of swamps on Lakeba has encouraged the development of irrigated taro. These swamps, regularly enriched by alluvial deposits from their catchments, allow cultivation to continue with very short fallows.

In the last few years these « traditional » uses of the environment have been supplemented by some new agricultural schemes.

On Taveuni, there has been a great expansion of stock-rearing and improved pasture under the coconuts. A similar trend is now developing on Lakeba and to a lesser extent on Batiki. At present, pastoral methods are extensive, often without fencing and in most cases exploiting the more or less spontaneous natural vegetation.

Lastly, over the last ten years or so, Caribbean pine have been planted on the talasiga soils of Lakeba but also on Nairai and in

clôture et la plupart du temps sur une végétation naturelle plus ou moins spontanée.

Des plantations de pins des Caraïbes ont enfin été entreprises depuis une dizaine d'années sur les « Talasiga soils » de Lakéba mais aussi sur Nairai et dans un secteur de Taveuni. L'effet de ces plantations sur les milieux les plus dégradés (Talasiga de Lakéba et de Nairai) apparaît plutôt bénéfique. Il y aurait toutefois lieu de diversifier les espèces plantées, en particulier dans les sols très fertiles de Taveuni.

L'utilisation de ces milieux semble donc encore très extensive, à quelques exceptions près, l'un des obstacles majeurs à une intensification étant l'occupation quasi totale des meilleures terres planes par une cocoteraie vieille et peu productive.

one area on Taveuni. The plantations appear to have a beneficial effect on the most degraded environments (the talasiga of Lakeba and Nairai) but an attempt should be made, especially on the highly fertile soils of Taveuni, to plant a greater variety of species.

With but few exceptions, these islands are used for extensive agriculture. The fact that virtually all the best flat land is occupied by old and rather unproductive coconut groves is one of the major obstacles to more intensive cultivation.

4 - PERSPECTIVES DE DÉVELOPPEMENT

Les risques d'une dégradation de l'environnement par l'utilisation qu'en fait l'homme, apparaissent moins graves que l'on aurait pu le supposer. Il semble par contre, à la lumière des travaux sur les migrations effectuées par le projet, que l'avenir d'un équilibre harmonieux entre l'homme et le milieu sur ces îles dépende en grande partie du pouvoir d'attraction qu'elles pourront avoir dans les années à venir sur la population. Cette population aurait en effet de nos jours tendance à déserter ces îles au profit des centres urbains de Viti Levu et de Vanua Levu. Cela était résumé dans le rapport général n° 1 du projet (UNESCO/UNFPA 1977) par cette phrase : « By the year 2000, a continuation of this strategy is likely to see many presently populated islands, reduced to the status of « absentee farms » still used for copra cutting by owners who live mainly elswhere ». Les problèmes de dégradation de ces milieux pourraient alors se poser en des termes nouveaux après le départ de la population active. Cette perspective de désertion apparaît cependant bien décevante pour des îles dont les ressources potentielles sont loin d'être négligeables et qui peuvent fournir à leurs habitants une qualité de vie qu'ils ne retrouveront pas dans les faubourgs de Suva. Le maintien d'une population jeune et active dépend toutefois en grande partie des possibilités de développement des ressources de ces îles. Or ce développement ne pourra se faire qu'à l'aide d'une restructuration de l'agriculture basée sur une bonne connaissance du milieu.

Une bonne connaissance de ces îles est en effet indispensable à leur mise en valeur. Il n'existe pas de recette unique pour le développement. Les cultures et les techniques que l'on peut proposer pour Taveuni ne sont pas forcément les mêmes que celles qui conviennent à Lakéba ou à Kabara. L'étude écologique qui a pu être menée sur ces cinq îles ne doit pas forcément être répétée de façon aussi approfondie sur l'ensemble des îles des Fidji. Les îles retenues ont en effet été choisies en fonction de leur représentativité dans la partie orientale de l'archipel. Mais il convient d'étendre cet inventaire aux autres îles à l'aide des données recueillies au cours du projet, des documents existants (TWYFORD et WRIGHT 1965) et de visites sur le terrain.

Cette restructuration de l'agriculture devra s'attaquer en premier lieu à la cocoteraie. L'extension de la cocoteraie dans les meilleures terres des plaines et des vallées est apparue au cours de cette étude comme l'un des freins principaux au développement. Un réaménagement des terres de ces cocoteraies apparaît donc essentiel. Ce réaménagement peut être une simple régénération des vieilles cocoteraies en association avec l'élevage ou les cultures ou en plantation pure, ceci afin d'augmenter leur rendement. Cependant ce réaménagement

4 - OUTLOOK FOR DEVELOPMENT

The risk of man-induced environmental degradation seems less serious than might have been supposed. But the project's work on population movements showed that, on these islands, a harmonious relationship between man and the environment will largely depend on their power of attraction for their populations in the years to come. Today, inhabitants are tending to leave these islands to swell the urban centres of Viti Levu and Vanua Levu. The General Report No 1 of the project (UNESCO-UNFPA 1977) summed up the situation : « By the year 2000, a continuation of this strategy is likely to see many presently populated islands reduced to the status of « absentee farms », still used for copra cutting by owners who live mainly elsewhere ». If this happens, and the active population goes, the problems of environmental degradation could take a new turn. The prospect of the population deserting these islands would be sad indeed since their far from negligeable potential resources could provide a quality of life which their inhabitants would not find in the suburbs of Suva. If the islands are to keep a young and active population, much depends on the possibility of developing their resources, and development will only succeed if the agriculture is reorganized in full knowledge of the environment.

It would in fact be impossible to realize the potential of these islands without such knowledge. There exists no single formula for development. The crops and techniques that might be suggested for Taveuni would not necessarily be suitable for Lakeba or Kabara. Our ecological study of the five islands need not necessarily be repeated in such detail for all the other islands of Fiji since the islands studied were selected precisely because they were representative of the eastern islands of the archipelago. None the less, the survey should be extended to the other islands by making use of the data gathered during this project, available publications (TWYFORD and WRIGHT 1965) and field trips.

The reorganization of agriculture should begin with the coconut plantations. The present study has shown how the spread of coconut groves over the best land of the plains and valleys is one of the main impediments to development. It is essential to reorganize the use of this land. One possibility would be to replant old coconut groves, whether in association with stock-rearing or field crops or in single-purpose plantations, with the object of increasing productivity. Such reorganization, however, should seize every opportunity to free some land for other uses (food crops, mechanized cultivation, coffee, cocoa, oil-palms, etc.). It would require preliminary experiments with the crops under consideration, investment and an effort to devise appropriate techniques, including mechani-

devra chaque fois que cela sera possible être l'occasion de libérer des terrains pour d'autres spéculations agricoles (cultures vivrières, cultures mécanisées, café, cacao, palmier à huile...). Un réaménagement de la cocoteraie exige par ailleurs des expérimentations préalables sur les cultures envisagées, des investissements et une adaptation des techniques. La mécanisation, l'utilisation d'engrais chimiques et d'engrais verts font partie des techniques nécessaires à l'aménagement de ces îles. Ces techniques nécessitent un long apprentissage et un important apport technologique pour être bien conduites. Il s'agit donc d'un processus lent, à entreprendre rapidement, avant qu'il ne soit trop tard.

Ce réaménagement de la cocoteraie touche principalement les zones planes ; un deuxième objectif dans le réaménagement de ces paysages concerne les pentes qui font actuellement l'objet de cultures itinérantes. Sur ces pentes il y a lieu, tout en maintenant une capacité de production, de diminuer l'érosion qui est, comme cela a été montré, encore trop forte. Dans les îles où ces terres de pentes sont indispensables à la production vivrière, il apparaît nécessaire de développer des techniques antiérosives par création de terrasses ou de cultures en courbes de niveau. Des essais en ce sens ont été réalisés à Kabara sur la colline volcanique, mais probablement trop tard et de façon pas assez radicale. Il y aurait lieu de diversifier ces méthodes et de contrôler leur effet sur l'érosion. Lorsque ces pentes ne sont pas indispensables pour les cultures vivrières il y a intérêt à les protéger par des plantations de cultures pérennes, arbustives ou arborées, qui couvrent bien le terrain. Parmi ces cultures on peut citer le caféier, le cocotier, le théier. On peut aussi envisager une reforestation à l'aide de bois de valeur.

Enfin dans les zones non cultivées mais régulièrement ravagées par les feux, le développement de la reforestation à l'aide d'espèces agressives comme le pin des Caraïbes apparaît comme la seule possibilité de développement d'une ressource tout en protégeant le milieu. La création d'une couverture végétale dans ces zones dénudées peut par ailleurs avoir des effets bénéfiques sur le régime hydrologique de ces îles et donc sur l'ensemble du milieu.

Ainsi le maintien d'une population et en particulier d'une population de jeunes sur ces îles dépend en grande partie des possibilités de transformation de leur économie rurale. Or ces transformations ne pourront se faire que par une bonne connaissance du milieu, une intensification des cultures dans les meilleures terres des plaines, une protection contre l'érosion des pentes actuellement régulièrement cultivées par la création de terrasses ou par l'implantation de cultures pérennes et par une reforestation des zones dégradées et régulièrement brûlées. Ces aménagements devraient permettre l'établissement d'un équilibre durable entre l'homme et le milieu.

zation and the use of chemical fertilizers and green manure. Such techniques take a long time to master and need considerable technological support if they are to be properly utilized. It will be a long process but one that should be set in motion rapidly, before it is too late.

Reorganization of the coconut groves would mainly concern flat land. A second objective would involve the slopes now used for shifting cultivation. Here the aim should be to maintain some capacity for production while reducing erosion which, as we have shown, is still excessive. On islands where the slopes are essential for food crops, anti-erosion techniques should be developed, such as the construction of terraces or cultivating along the contours. There have been attempts to do this on Kabara's volcanic hill, but they were probably too late and not Sufficiently radical. More varied methods of combating erosion should be employed and their effectiveness monitored. When the slopes are not essential for food crops, it would be better to protect them by planting perennial shrubs or trees, which provide good ground cover. These could include coffee, coconuts or tea but reafforestation with high-quality timber could also be considered.

Lastly, in areas which are not cultivated yet regularly devastated by fires, increased reafforestation with aggressive species such as the Caribbean pine seems to be the only means of developing a resource while protecting the environment. The establishment of vegetal cover in these denuded areas can produce beneficial side-effects on the hydrological regime of the islands and consequently on the environment as a whole.

Thus the maintenance of an island population, and particularly a population of young people, depends in great measure on the possibility of transforming the rural economy of these islands. But such changes can only be carried through with sound knowledge of the local environment, more intensive cultivation of the best land in the plains, measures to protect the regularly cultivated slopes from erosion-such as the building of terraces and the planting of perennial crops — and the reafforestation of degraded areas which are regularly burned. Improvements such as these would lay the foundations for a lasting equilibrium between man and his environment.

Annexes

ANNEXE N° 1
NOTES BIOGRAPHIQUES CONCERNANT LES AUTEURS

T.P. BAYLISS-SMITH, « Lecturer » au département de géographie de l'Université de Cambridge (Angleterre) — S'est occupé principalement au cours du projet des ressources au niveau du village et de géographie physique.

H.C. BROOKFIELD, Chef du département de géographie de l'Université de Malbourne (Australie) — Pendant le projet, conseiller technique en chef et responsable du projet à Fidji.

M. BROOKFIELD, Adjointe au directeur de la Faculté de Médecine de l'Université de Melbourne (Australie) — S'est intéressé plus particulièrement au cours du projet à l'utilisation des terres à Lakéba et aux conséquences des catastrophes naturelles sur la population.

J.R. CAMPBELL, Etudiant diplômé à l'Université de Hawaï (Etats-Unis) — Assistant de recherche durant le projet.

B. DENIS, Pédologue à l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer — A travaillé principalement à l'inventaire pédologique de Taveuni et d'une partie de Lakéba et à l'évolution des sols sous culture de Taro.

G.S. HOPE, « Visiting fellow » à la Research School of Pacific Studies de l'Australian National University de Canberra (Australie — A été en charge du comptage des particules carbonisées sur les carottes de sondage de Lakéba.

P.J. HUGHES, Assistant de recherche au département de préhistoire de la Research School of Pacific Studies de l'Australian National University Canberra (Australie) — S'est occupé de l'interprétation sédimentologique des carottes du sondage de Lakéba.

M. LATHAM, Chef de la section de pédologie au Centre ORSTOM de Nouméa — S'est occupé de la partie écologie terrestre du projet.

R.F. Mac LEAN, Département de géographie de l'Université d'Auckland — S'est occupé de géomorphologie côtière sur Kabara et Lakéba au cours du projet.

ANNEXE 1
BIOGRAPHICAL NOTES ON THE AUTHORS

T.P. BAYLISS-SMITH, Lecturer in Geography at the University of Cambridge, U.K. ; during the project, was mainly concerned with village resources and physical geography.

H.C. BROOKFIELD, Head of the Geography Department at the University of Melbourne, Australia ; was Chief Technical Adviser of the project and in charge of operations in Fiji.

M. BROOKFIELD, Assistant to the Director of the Faculty of Medicine of the University of Melbourne, Australia ; while with the project, was particularly concerned with land-use on Lakeba and the consequences of natural disasters for the population.

J.R. CAMPBELL, Graduate student at the University of Hawai, U.S.A. ; Research Assistant during the project.

B. DENIS, Pedologist at the Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM), Noumea, New Caledonia ; was mainly concerned with the pedological survey of Taveuni and part of Lakeba, and with the evolution of soils under taro.

G.S. HOPE, Visiting Fellow at the Research School of Pacific Studies of the Australian National University at Canberra, Australia ; was responsible for counting the carbonized particles in the cores from Lakeba.

P.J. HUGHES, Research Assistant in the Department of Prehistory of the Research School of Pacific Studies of the Australian National University at Canberra, Australia ; was concerned with interpretation of the sediments in the cores from Lakeba.

M. LATHAM, Head of the Pedological Section of the ORSTOM Centre in Noumea, New Caledonia ; was concerned with the terrestrial ecology aspects of the project.

R.F. Mc LEAN, Geography Department of the University of Auckland, New Zealand ; while with the project, was concerned with coastal geomorphology on Kabara and Lakeba.

ANNEXE 2

Corrélation entre la légende FAO, les classifications de TWYFORD et WRIGHT et CPCS et la Soil Taxonomy
Correlation between theFAO legend, the classifications of TWYFORD and WRIGHT, C.P.C.S., and U.S. Soil Taxonomy

Légende FAO *FAO*	Légende TWYFORD et WRIGHT *TWYFORD and WRIGHT classification*	Classification CPCS *Classification CPCS (french system)*	Soil Taxonomy *Soil Taxonomy*
HISTOSOLS	Organic soils	Sols hydromorphes organiques	Typic Tropohemist
FLUVISOLS			
Thionic Fluvisols	Saline soils of the marine marsh	Sols peu évolués d'apport marin	Typic Sulfaquepts
Eutric Fluvisols	Recent soils from alluvium	Sols peu évolués d'apports alluviaux	Typic Udifluvents
GLEYSOLS			
Humic Gleysols	Gley soils	Sols hydromorphes moyennement organiques à gley	Typic Tropaquepts
ANDOSOLS			
Humic Andosols	Latosolic soils	Andosols différenciés désaturés chromiques	Typic Hydrandepts
Mollic Andosols	Latosolic soils	Andosols peu différenciés humiques	Mollic Hydrandepts
RENDZINA	Recent soils from coastal sand	Sols calcimagnésiques, carbonatés, rendzines	Rendolls
FERRALSOLS			
Humic Ferralsols	Humiferous latosols (Lakaba) Latosolic soils (Taveuni)	Sols ferrallitiques, fortement désaturés, typiques humiques et andiques	Oxisols Haplohumox
Acric Ferralsols	Ferruginous latosols	Sols ferrallitiques fortement désaturés appauvris	Typic Acrorthox
Rhodic Ferralsols	Latosolic soils	Sols ferrallitiques fortement désaturés typiques modaux	Haplorthox
LUVISOLS			
Chromic Luvisols	Ferruginous latosols	Sols ferrallitiques moyennement désaturés lessivés	Typic Rhodudalf
CAMBISOLS			
Ferralic Cambisols	Ferruginous latosols	Sols ferrallitiques rajeunis	Dystropepts
Eutric Cambisols	Nigrescent soils	Sols brunifiés des pays tropicaux bruns eutrophes peu évolués	Eutropepts

ANNEXE N° 3
DESCRIPTION DES PRINCIPAUX PROFILS PÉDOLOGIQUES* DE RÉFÉRENCE

Histosols	LAK 1	(Lakéba)
Eutric fluvisols	LL 1	(Lakéba)
Humic gleysols	LAK 2	(Lakéba)
Humic andosols	TAV 5	(Taveuni)
Mollic andosols	TAV 9	(Taveuni)
Rendzinas	LC 11	(Lakéba)
Humic ferralsols	K 1	(Kabara)
Humic ferralsols	TAV 14	(Taveuni)
Acric ferralsols	LK 12	(Lakéba)
Rhodic ferralsols	LS 9	(Lakéba)
Chromic luvisols	LL 3	(Lakéba)
Eutric cambisols (Forêt)	LAK 3	(Lakéba)
Ferralic cambisols	LS 11	(Lakéba)
Eutric cambisols (Roseaux)	LC 9	(Lakéba)

* A ces profils correspondent des résultats analytiques présentés dans le texte.

Histosols LAK 1

— Localisation : Lakéba, zone marécageuse derrière le village de Lévuka.
— Climat : tropical océanique ; pluviométrie 2000 mm/an.
— Site : zone marécageuse sub-côtière.

ANNEX 3
*DESCRIPTION OF THE MAIN PEDOLOGICAL PROFILES USED FOR REFERENCE**

Histosols	*LAK 1*	*(Lakeba)*
Eutric fluvisols	*LL1*	*(Lakeba)*
Humic gleysols	*LAK 2*	*(Lakeba)*
Humic andosols	*TAV 5*	*(Taveuni)*
Mollic andosols	*TAV 9*	*(Taveuni)*
Rendzinas	*LC 11*	*(Lakeba)*
Humic ferralsols	*K 1*	*(Kabara)*
Humic ferralsols	*TAV 14*	*(Taveuni)*
Acric ferralsols	*LK 12*	*(Lakeba)*
Rhodic ferralsols	*LS 9*	*(Lakeba)*
Chromic luvisols	*LL 3*	*(Lakeba)*
Eutric cambisols (Forest)	*LAK 3*	*(Lakeba)*
Ferralic cambisols	*LS 11*	*(Lakeba)*
Autric cambisols (Reeds)	*LC 9*	*(Lakeba)*

** These are the profiles on which the results of analysis presented in the text are based.*

Histosols LAK 1

— Location : Lakeba, swamp behind the village of Levuka.
— Climate : oceanic tropical ; precipitation 2 000 mm/year
— Position : sub-coastal swamp

— Matériau originel : sédiments organo-minéraux, sur plage corrallienne d'âge Holocène.
— Végétation : végétation herbacée à *Ludwigia octovalvis, Mikania micrantha ; Nephrolepis sp. ; Mimosa pudica ; Eleocharis dulcis.*

0-35 cm. Très humide (niveau d'engorgement permanent) brun foncé, à matière organique directement décelable, contenant des éléments végétaux non décomposés, texture fine ; forte porosité, nombreuses racines moyennes et fines ; transition distincte et régulière.

35-80 cm. Très humide ; brun-rouge foncé ; à matière organique directement décelable contenant quelques grosses racines mortes ; pas d'éléments minéraux visibles ; texture fine ; quelques racines moyennes et fines ; transition graduelle et régulière.

80-130 cm. Très humide avec de nombreuses taches vertes et rouilles, à matière organique directement décelable ; quelques grosses racines et feuilles peu décomposées ; quelques éléments minéraux sableux en lentilles - texture fine ; pas de racines vivantes ; transition graduelle et régulière.

130-190 cm. Très humide ; brun gris ; à matière organique directement décelable ; éléments ligneux non complètement décomposé ; nombreux éléments minéraux de texture argileuse ; pas de racines vivantes ; transition graduelle et régulière.

190-280 cm. Très humide ; brun gris ; à matière organique directement décelable ; présence d'éléments coquilliés de toutes sortes devenant de plus en plus abondants jusque vers 280 cm où ils forment un horizon sableux continu.

Eutric fluvisols LL1

— Situation : Lakéba, plaine côtière au sud de Nukunuku à 150 m de la mangrove.
— Climat : tropical océanique ; pluviométrie 2000 mm/an.
— Site : plaine côtière.
— Matériau originel : alluvions récentes.
— Végétation : cocoteraie, *Cocos nucifera, Inocarpus fagiferus, Melicope robusta, Psidium guajava, Ocimum gratissimum, Stachytarpheta urticaefolia...*

A_1 - 0-15 cm. Humide ; brun rouge très foncé 5 YR 4/3 ; à matière organique non directement décelable ; argileux ; structure fragmentaire très nette, polyédrique fine ; volume des vides assez important ; quelques pores dans les agrégats ; assez friable ; très nombreuses racines moyennes et fines. Transition distincte et régulière.

A_3 - 15-55 cm. Humide ; brun rouge foncé 5 YR 4/3 ; argileux ; structure fragmentaire nette, polyédrique moyenne à grossière à tendance prismatique ; volume des vides faible entre les agrégats quelques pores dans les agrégats ; assez ferme ; nombreuses racines moyennes et fines ; transition graduelle et régulière.

C - 55-155 cm. Humide ; brun rouge, 5 YR 5/3 ; argileux ; quelques passées sableuses ; structure fragmentaire nette polyédrique fine ; volume des vides faible entre les agrégats ; quelques pores tubulaires ; ferme ; quelques racines fines ; transition distincte et régulière.

Cg - 155-175 cm. Humide ; brun rouge 5 YR 4/4, nombreuses taches jaunes et noires, de petite taille bien différenciées ; sablo-argileux ; structure particulaire, nombreux petits graviers de roche altérée.

— Parent material : organic-mineral sediments on Holocene coral beach.
— Vegetation : herbaceous vegetation with Ludwigia octovalvis, Mikania Micrantha ; Nephrolepis sp. ; Mimosa pudica ; Eleocharis dulcis.

0-35 cm. Very wet (permanently waterlogged) ; dark brown with visible organic matter containing non-decomposed plant debris ; fine texture ; great porosity, abundant medium to fine roots ; clear smooth boundary.

35-80 cm. Very wet : dark brownish-red with visible organic matter containing some large dead roots ; no mineral elements visible, fine texture ; some medium to fine roots ; gradual smooth boundary.

80-130 cm. Very wet, with many green and rusty mottles and visible organic matter ; some large roots and leaves only slightly decomposed ; some sandy mineral lenticular grits, fine texture ; no living roots ; gradual smooth boundary.

130-190 cm. Very wet ; brownish grey, with visible organic matter ; ligneous fragments not completely decomposed ; abundant mineral grits of a clayey texture ; no living roots ; gradual smooth boundary.

190-280 cm. Very wet : brownish grey, with visible organic matter ; shell debris of all kinds becoming increasingly abundant down to 280 cm where they form an unbroken sand horizon.

Eutric fluvisols LL1

— — Location : Lakeba, coastal plain south of Nukunuku, 150 m from the mangrove.
— Climate : Oceanic tropical ; precipitation : 2000 mm/year.
— Position : Coastal plain.
— Parent material : Recent alluvium.
— Vegetation : Coconut plantation, Cocos nucifera, Inocarpus fagiferus, Melicope robusta, Psidium guajava, Ocimum gratissimum, Stachytarpheta urticaefolia, *etc.*

A_1 - 0-15 cm. Wet ; very dark reddish brown, 5 YR 4/3, with non-visible organic matter ; clay ; strong fine blocky structure ; great macroporosity ; some pores in the aggregates ; friable ; very abundant medium to fine roots ; clear smooth boundary.

A_3 - 15-55 cm. Wet ; dark reddish brown, 5 YR 4/3 ; clay ; moderate medium to coarse somewhat prismatic blocky structure ; slight macroporosity ; some pores in the aggregates ; firm ; abundant medium to fine roots ; gradual smooth boundary.

C - 55-155 cm. Wet ; reddish brown, 5 YR 5/3 ; clay ; some sandy pockets ; moderate fine blocky structure ; slight macroporosity : some tubular pores ; firm ; some fine roots : clear smooth boundary.

C_g - 155-175 cm. Wet ; reddish brown, 5 YR 4/4 ; many yellow and black distinct fine mottles ; sandy clay ; single grain structure ; many small weathered gravels.

Humic gleysols LAK 2

— Location : Lakeba, upper Tubou valley swamp.
— Climate : oceanic tropical ; precipitation : 2000 mm/year.
— Position : swamp.
— Parent Material : recent mineral sediments.
— Vegetation : Nephrolepis sp., Scleria polycarpa, Mikania micrantha, Ludwigia octovalvis, Malvastrum coromandelianum, Hyptis pectinata.

Humic gleysols LAK 2

— Localisation : Lakéba fond de la vallée de Tubou, zone marécageuse.
— Climat : tropical océanique, pluviométrie : 2000 mm/an.
— Site : zone marécageuse.
— Matériau originel : sédiments minéraux d'âge récent.
— Végétation : végétation à *Nephrolepis sp., Scleria polycarpa, Mikania micrantha, Ludwigia octovalvis, Malvastrum coromandelianum, Hyptis pectinata...*

A_1 - 0-10 cm. Très humide ; gris brun très foncé, à matière organique directement décelable ; limoneux ; structure fragmentaire nette, grumeleuse moyenne ; volume des vides important entre les agrégats, très poreux ; plastique peu collant ; très nombreuses racines moyennes et fines ; transition distincte et régulière.

A_3 - 10-15 cm. Très humide ; taché gris, bleu et rouille ; à matière organique non directement décelable ; limoneux ; structure fragmentaire peu nette, polyédrique subangulaire ; peu poreux ; très nombreuses racines fines ; transition distincte et régulière ;

B_G - 15-45 cm. Très humide ; gris bleuté à chenaux de racine de couleur rouille ; à matière organique non directement décelable ; argileux ; quelques cailloux d'andésite peu altérée ; structure fragmentaire nette, polyédrique moyenne ; plastique ; très collant ; nombreuses racines très fines ; transition distincte et régulière.

B_G C - 45-120 cm. Très humide ; gris noir, quelques taches brunes et bleues, apparemment non organiques ; quelques graviers d'andésite peu altérés ; argileux ; structure fragmentaire peu nette, polyédrique moyenne ; volume des vides très faible ; peu poreux ; plastique ; collant ; quelques racines très fines ; transition graduelle et régulière.

C - 120-240 cm. Altération de la roche tachée avec veines rouges, roses et grises ; limono-argileux ; consistant ; quelques racines fines.

Humic andosols TAV 5

— Localisation : Taveuni, zone plane du Sud de l'île - Altitude 30 mètres.
— Climat : tropical humide, pluviométrie environ 5000 mm/an.
— Site : versants entourant les cônes volcaniques.
— Matériau originel : coulée basaltique.
— Végétation-utilisation : culture maraîchère et cocotiers - Fougères.

A_1 - 0-22 cm. Ressuyé ; brun très sombre 10 YR 2/2, à matière organique non directement décelable, argileux, structure fragmentaire nette ; polyédrique fine et moyenne ; volume des vides entre les agrégats assez important, meuble, peu collant, peu plastique, chevelu de racines sur plusieurs cms puis nombreuses racines fines. Transition distincte et régulière.

A_3 - 22-50 cm. Frais, brun gris très sombre 10 YR 3/2, graviers et cailloux de basalte peu altérés, peu abondants, sablo-limoneux, structure fragmentaire nette, polyédrique moyenne, friable, peu collant, peu plastique, nombreuses racines de toutes dimensions, transition graduelle et régulière.

$(B)_1$ - 50-90 cm. Frais, brun sombre 10 YR 3/3, quelques cailloux de basalte peu altérés sablo-argilo-limoneux, structure fragmentaire peu nette, polyédrique subangulaire, friable, racines fines et moyennes. Transition distincte et régulière.

A_1 - 0-10 cm. Very wet ; very dark grey brown, with visible organic matter ; loamy ; moderately clear medium granular structure ; great macroporosity between aggregates, very porous ; plastic ; not particularly sticky : very abundant medium and fine roots ; clear and smooth boundary.

A_3 - 10-15 cm. Very wet ; mottled grey, blue and rusty, with non-visible organic matter ; loamy ; weak subangular blocky structure ; low porosity ; very abundant fine roots ; clear smooth boundary.

B_G - 15-45 cm. Very wet ; bluish grey with rusty channels around the roots with non-visible organic matter ; clay ; some small little-weathered andesitic grits ; moderately clear medium blocky structure plastic : very sticky ; abundant fine roots ; clear smooth boundary.

B_GC - 45-120 cm. Very wet ; greyish black ; some brown and blue mottles apparently not organic ; some little-weathered andesitic grits ; clay ; weak medium blocky structure ; very weak macroporosity ; not particularly porous ; plastic ; sticky : some very fine roots ; gradual smooth boundary.

C - 120-240 cm. Weathered rock with red, pink and grey veins ; loamy-clay ; firm ; some fine roots.

Humic andosols TAV 5

— Location : Taveuni, level zone in south of island ; elevation 30 m.
— Climate : Tropical humid, precipitation about 5 000 mm/year.
— Position : slopes around volcanic cones
— Parent material : basalt flows.
— Vegetation use : market gardening and coconuts - Ferns.

A_1 - 0-22 cm. Dry ; very dark brown, 10 YR 2/2, with non-visible organic matter ; clay : moderately clear and medium blocky structure ; considerable macroporosity ; loose, slightly sticky, slightly plastic : root hairs for several cm then abundant fine roots ; clear smooth boundary.

A_3 - 22-50 cm. Moist ; very dark brownish grey, 10 YR 3/2 ; some little-weathered basalt gravels and fragments ; sandy loam moderately clear medium blocky structure ; friable ; not particularly sticky ; not particularly plastic ; abundant roots of all sizes ; gradual smooth boundary.

$(B)_1$ - 50-90 cm. Moist ; dark brown, 10 YR 3/3 ; a few little-weathered basalt fragments ; sandy clay-loam ; weak subangular blocky structure ; friable ; fine to medium roots ; clear smooth boundary.

$(B)_2$ - 90-120 cm. Moist ; brown, 7.5 YR 4/2 ; many little-weathered basalt blocks and fragments ; sandy-loam ; weak subangular blocky structure ; friable ; fine to medium roots.

Mollic andosols TAV 9

— Location : south Taveuni, elevation 170 m.
— Climate : tropical humid, mean precipitation about 3 000-4 000 mm/year.
— Position : slope of volcanic cone.
— Parent material : Lapilli and basalt flows.
— Vegetation use : dry taro.

A_1 - 0-16 cm. Dry ; very dark brownish grey, 10 YR 3/2, with non-visible organic matter ; sandy clay-loam ; moderately clear fine to medium blocky structure ; considerable macroporosity ; aggregates not particularly porous ; friable ; dense root hairs for

$(B)_2$ - 90-120 cm. Frais, brun, 7,5 YR 4/2, nombreux cailloux et blocs de basalte peu altérés, sablo-limoneux, structure fragmentaire peu nette, polyédrique subangulaire, friable, racines fines et moyennes.

Mollic andosols TAV 9

— Localisation : Taveuni, Sud de l'île, altitude 170 m.
— Climat : tropical humide, pluviométrie moyenne : environ 3000 à 4000 mm/an.
— Site : pente sur cône volcanique.
— Matériau originel : lapillis et coulées basaltiques.
— Végétation-utilisation : culture de taro en sec.

A_1 - 0-16 cm. Ressuyé, brun gris très sombre, 10 YR 3/2, à matière organique non directement décelable, sablo-argilo-limoneux, structure fragmentaire nette, polyédrique fine et moyenne, volume entre les agrégats assez important, agrégats peu poreux, friables, chevelu racinaire dense sur 2 cm, puis nombreuses racines fines et moyennes. Transition distincte et régulière.

(B) - 16-70 cm. Ressuyé, brun sombre 10 YR 3/3, quelques graviers de basalte altéré et non altéré associés à des lapillis localisés en plages, sablo-limoneux, structure fragmentaire peu nette, polyédrique moyenne, volume des vides entre les agrégats peu importants, agrégats poreux, peu plastiques, peu collants, racines fines et moyennes, quelques grosses. Transition distincte et irrégulière.

$(B)_C$ - 70-140 cm. Ressuyé, brun 7,5 YR 4/2, très nombreux graviers et petits cailloux de basalte de couleur rouille, sablo-limoneux, structure fragmentaire peu nette, polyédrique subangulaire, volume des vides peu important entre les agrégats, rares racines.

Rendzinas LC 11

— Situation : Lakéba, plaine côtière à 500 m au Sud-Ouest de Waci-Waci.
— Climat : tropical océanique : pluviométrie 2000 mm/an.
— Site : plaine côtière.
— Matériau originel : sables calcaires.
— Végétation : cocoteraie *Cocos nucifera, Psidium guajava, Hyptis pectinata, Malvastrum coromandelianum, Stachytarpheta urticaefolia, Mimosa pudica, Ipomea sp., Mikania micrantha, Euphorbia hirta.*

A_1 - 0-18 cm. Humide, brun très foncé 5 YR 3/2, à matière organique non directement décelable ; nombreux petits cailloux de ponce volcanique, structure fragmentaire nette, polyédrique fine ; volume des vides très important entre les agrégats ; friable ; très nombreuses racines moyennes et fines. Transition distincte et régulière.

A_3- 18-35/40 cm. Humide, brun foncé 5 YR 3/3, liseré rouille à la base de l'horizon ; nombreux cailloux de sables volcaniques et résidus de coquilles et de coraux ; structure fragmentaire peu nette, polyédrique moyenne ; volume des vides important entre les agrégats ; nombreuses racines grosses, moyennes et fines. Transition distincte et ondulée.

C - 35/40-60 cm et plus. Humide, sable blanc 7,5 7/4 corallien, très riche en foraminifères ; structure particulaire ; quelques racines. 60 cm au niveau de nappe douce.

2 cm then abundant fine to medium roots ; clear smooth boundary.

(B) - 16-70 cm. Dry ; dark brown, 10 YR 3/3 ; some weathered and unweathered basalt gravels associated with occasional layers of lapilli ; sandy loam ; weak medium blocky structure : little macroporosity : aggregates porous, not particularly plastic or sticky ; medium and fine roots, some large roots ; clear uneven boundary.

$(B)_C$ - 70-140 cm. Dry ; brown, 7.5 YR 4/2 ; abundant rust-coloured basalt gravels and small fragments ; sandy loam ; weak subangular blocky structure ; little macroporosity very few roots.

Rendzinas LC 11

— Location : Lakeba, the coastal plain 500 m south-west of Waciwaci.
— Climate : oceanic tropical ; precipitations 2 000 mm/year.
— Position : coastal plain.
— Parent material : calcareous sand.
— Vegetation : coconut grove with Cocos nucifera, Psidium guajava, Hyptis pectinata, Malvastrum coromandelianum, Stachytarpheta urticaefolia, Mimosa pudica, Ipomea sp., Mikania micrantha, Euphorbia hirta.

A_1 - 0-18 cm. Wet ; very dark brown, 5 YR 3/2, with non-visible organic matter ; many small fragments of volcanic pumice ; moderately clear fine blocky structure ; great macroporosity ; friable, very abundant medium to fine roots ; clear smooth boundary.

A_3 - 18-35/40 cm. Wet ; dark brown, 5 YR 3/3, with rust-coloured border at base of horizon ; abundant fragments of volcanic sands and shell and coral debris ; weak medium blocky structure ; considerable macroporosity : abundant large, medium and fine roots ; clear wavy boundary.

C - 35/40-60 cm and more. Wet ; white sand, 7.5 7/4 of coral origin, with abundant Foraminifera ; single-grain structure ; some roots. 60 cm level of fresh water table.

Humic ferralsols K1

— Location : Kabara, limestone plateau between Naikeleyaga and Tokakau, elevation 60 m.
— Climate : oceanic tropical with a marked dry season, mean precipitation 2 100 mm/year.
— Position : uplifted reef plateau.
— Parent material : volcanic material deposited on limestones.
— Vegetation : cleared land under coconuts with many adventitious plants.

A_1 - 0-12 cm. Moist ; dusky brownish red ; 2.5 YR 4/4 ; loamy-clay ; moderately clear medium granular structure ; considerable macroporosity ; aggregates only slightly porous ; friable ; abundant medium to fine roots ; clear smooth boundary.

(B) - 12-60 cm. Moist ; dusky red, 2.5 YR 3/6 ; clay ; weak subangular blocky structure ; great microporosity and very low bulk density ; unctuous to the touch ; very abundant medium to fine roots ; clear uneven boundary.

R - 60 cm and over. Hard limestone, but more friable when in contact with pedological horizon.

Humic ferralsols K 1

— Localisation : Kabara, plateau calcaire entre Naikeleyaga et Tokalau, 60 m d'altitude.
— Climat : tropical océanique à saison sèche marquée, pluviométrie moyenne 2100 mm/an.
— Site : plateau récifal soulevé.
— Matériau originel : matériau volcanique déposé sur les calcaires.
— Végétation : défriche sous cocotier avec nombreuses adventices.

A_1- 0-12 cm. Frais, brun rouge sombre 2,5 YR 4/4, limono-argileux, structure fragmentaire nette grumeleuse moyenne ; volume des vides important, agrégats peu poreux, friable, nombreuses racines moyennes et fines. Transition distincte et régulière.

(B) - 12-60 cm. Frais, rouge sombre 2,5 YR 3/6, argileux, structure fragmentaire peu nette, polyédrique subangulaire, microporosité très importante et densité apparente très faible, touché onctueux, très nombreuses racines moyennes et fines. Transition distincte et irrégulière.

R - 60 cm et plus. Calcaire dur, plus friable au contact avec l'horizon pédologique.

Humic ferralsols TAV 14

— Localisation : Taveuni colline du Nord-Est, altitude 400 m.
— Climat : tropical humide, pluviométrie moyenne 3000 à 4000 mm/an.
— Site : colline à pente moyenne.
— Matériau originel : coulée de basalte.
— Végétation-utilisation : culture du Taro sur défriche forestière.

A_1 - 0-12 cm. Ressuyé, brun gris sombre 10 YR 4/2, quelques cailloux de basalte peu altérés, à matière organique non directement décelable, argileux, structure fragmentaire nette, polyédrique fine et moyenne, volume des vides important, agrégats peu poreux, peu plastique, peu collant, nombreuses racines fines et moyennes. Transition distincte et régulière.

B - 12-60 cm. Humide, brun jaunâtre sombre 10 YR 4/4 - cailloux et blocs de basalte peu altérés, limono-argileux, structure fragmentaire nette, polyédrique moyenne, peu collant, peu plastique, quelques racines fines. Transition distincte et irrégulière.

B.C - 60-90 cm. Humide, brun jaunâtre sombre 10 YR 4/4, très nombreux cailloux et blocs de basalte plus ou moins altéré - limono-sableux, structure fragmentaire peu nette, polyédrique subangulaire, meuble, poreux, pas de racine.

Acric ferralsols LK 12

— Localisation : Lakéba ; plateau, zone centrale de l'île, altitude 220 m.
— Climat : tropical océanique à saison sèche marquée ; pluviométrie 2000 mm/an.
— Site : plateau niveau I_a.
— Matériau originel : andésite.
— Végétation : formation à Talasiga ; strate herbacée : *Dicranopteris linearis, Pteridium esculentum,* graminées, composées ; strate arbustive et arborée : *Dodonea viscosa, Metrosideros collina, Miscanthus floridulus, Pandanus odoratissimus, Casuarina equisitifolia.*

Humic ferralsols TAV 14

— Location : hill in north-east Taveuni, elevation 400 m.
— Climate : tropical humid ; mean precipitation 3 000-4 000 mm/year.
— Position : hill with medium slope.
— Parent material : basalt flow.
— Vegetation use : cultivation of taro after forest clearance.

A_1 - 0-12 cm. Dry ; dusky brownish grey, 10 YR 4/2 ; some little-weathered basalt fragments : non-visible organic matter ; clay ; moderately clear fine and medium blocky structure ; considerable macroporosity ; aggregates only slightly porous ; not particularly plastic or sticky ; abundant medium to fine roots ; clear smooth boundary.

B - 12-60 cm. Wet ; dusky yellowish brown, 10 YR 4/4 ; little weathered basalt blocks and fragments ; loamy clay ; moderately clear medium blocky structure ; not particularly sticky or plastic ; some fine roots : clear uneven boundary.

B.C. - 60-90 cm. Wet ; dusky yellowish brown ; 10 YR 4/4 ; very many basalt blocks and fragments with varying degrees of weathering ; loamy-sandy : weak subangular blocky structure ; loose, porous ; no roots.

Acric ferralsols LK 12

— Location : Lakeba, plateau in central zone of the island ; elevation 220 m.
— Climate : oceanic tropical with a marked dry season, precipitations : 2 000 mm/year.
— Position : upper plateau level (la).
— Parent Material : Andesite.
— Vegetation : Talasiga formation ; herbaceous strata : Dicranopteris linearis, Pteridium esculentum, Gramineae, Compositae ; *ligneous strata :* Dodonaea viscosa, Metrosideros collina, Miscanthus floridulus, Pandanus odoratissimus, Casuarina equisetifolia.

A_1 - 0-8 cm. Moist : very dark reddish brown, 5 YR 3/2, with non-visible organic matter ; sandy clay ; many small ferro-manganiferous concretations ; some millstone grits on the soil surface ; weak fine subangular blocky structure ; great macro-porosity ; friable ; abundant fine and medium roots ; clear smooth boundary.

A_3 - 8-52 cm. Moist ; dusky red, 5 YR 3/4 ; loamy clay ; some small ferromanganiferous concretions : weak fine to medium subangular blocky structure ; great macroporosity, many tubular pores ; very friable ; abundant fine and medium roots ; gradual smooth boundary.

B_1 - 52-85 cm. Moist ; dusky red, 5 YR 3/4 ; clay ; some ferro-manganiferous concretions : weak medium blocky structure ; slight macroporosity ; some pores in the aggregates ; firm ; some fine to medium roots ; gradual smooth boundary.

B_2 - 85-120 cm. Moist ; red, 2.5 YR 4/6 ; clay ; some ferro-manganiferous concretions : moderately clear coarse blocky structure ; very slight macroporosity : slightly porous ; shiny peds ; weakly cemented ; some fine roots ; gradual smooth boundary.

B_3 - 120-150 cm. Moist : red, 2.5 YR 4/6 ; clay ; few ferro-manganiferous concretions ; moderate medium blocky structure ; slight macroporosity ; slightly porous ; shiny peds ; friable ; no roots ; gradual smooth boundary.

B_3C - 150-190 cm. Moist ; red, 2.5 YR 4/6 ; clay ; weak medium blocky structure ; slight macroporosity ; some tubular pores ; friable ; no roots.

A_1 - 0-8 cm. Frais ; brun rouge très foncé 5 YR 3/2, à matière organique non directement décelable ; sablo-argileux ; nombreux petits gravillons ferro-mangagésifères, quelques éléments de meulière dispersés à la surface, structure fragmentaire peu nette, polyédrique subangulaire fine ; volume des vides important, friable, nombreuses racines moyennes et fines. Transition distincte et régulière.

A_3 - 8-52 cm. Frais ; rouge sombre 5 YR 3/4 ; limono-argileux ; quelques concrétions ferro-manganésifères ; structure fragmentaire peu nette, polyédrique subangulaire moyenne à fine ; volume des vides important, nombreux pores tubulaires ; très friable ; nombreuses racines moyennes et fines. Transition graduelle et régulière.

B_1 - 52-85 cm. Frais ; rouge sombre 5 YR 3/4 ; argileux ; quelques gravillons ferro-manganésifères ; structure fragmentaire peu nette, polyédrique moyenne ; volume des vides faible, agrégats poreux, ferme, quelques racines moyennes et fines. Transition graduelle et régulière.

B_2 - 85-120 cm. Frais ; rouge 2,5 YR 4/6 ; argileux ; quelques gravillons ferro-manganésifères ; structure fragmentaire nette, polyédrique grossière ; volume des vides très faible, peu poreux ; faces luisantes, légère cimentation ; quelques racines fines. Transition graduelle et régulière.

$B_{\hat{e}}$ - 120-150 cm. Frais ; rouge 2,5 YR 4/6 ; argileux ; quelques rares concrétions ferro-manganésifères ; structure fragmentaire nette polyédrique moyenne ; volume des vides faible, peu poreux ; faces luisantes ; friable ; pas de racine. Transition graduelle et régulière.

B_3 C - 150-190 cm. Frais ; rouge 2,5 YR 4/6 ; argileux ; structure fragmentaire peu nette, polyédrique moyenne ; volume des vides faible, quelques pores tubulaires ; friable ; pas de racine.

Rhodic ferralsols LS 9

— Localisation : Lakéba zone centrale de l'île, à proximité du chemin Levuka-Yadrana ; altitude 130 m.
— Climat : tropical océanique à saison sèche marquée ; pluviométrie moyenne annuelle 2000 mm.
— Site : zone ondulée, pente 30 %.
— Matériau originel : andésite.
— Végétation :formation à Talasiga, strate herbacée : *Dicranopteris linearis, Pteridium esculentum, Spathoglottis pacifica, Cordyline terminalis ;* strate arbustive et arborée : *Miscanthus floridulus, Casuarina equiselifolia, Geissois ternata.*

A_1 - 0-15 cm. Frais ; brun-rouge foncé 2,5 YR 5/4 ; argileux ; structure fragmentaire très nette, polyédrique moyenne à fine ; volume des vides important ; agrégats peu poreux ; friables ; nombreuses racines moyennes et fines. Transition distincte et régulière.

A_3 - 15-30 cm. Frais ; brun-rouge 5 YR 5/6 ; argileux ; structure fragmentaire nette, polyédrique moyenne à fine ; volume des vides assez important ; assez ferme ; quelques racines moyennes et fines. Transition graduelle et régulière.

B_2 - 30-110 cm. Frais ; rouge, 2,5 YR ; argileux ; structure fragmentaire très nette polyédrique moyenne et fine ; volume des vides assez important entre les agrégats ; faces luisantes ; assez ferme.; peu de racines. Transition distincte et régulière.

B_3 - 110-140 cm. Frais ; rouge, 2,5 YR 6/6, quelques taches jaunes ; limono-argileux ; structure fragmentaire nette, polyédrique moyenne à grossière ; volume des vides faible entre les agrégats, ferme, pas de racine.

Rhodic ferralsols LS 9

— Location : Lakeba, central zone of the island, close to the Yadrana - Levuka track ; elevation 130 m.
— Climate : oceanic tropical with a marked dry season ; precipitation : 2 000 mm/year.
— Position : undulated landscape ; 30 per cent slope.
— Parent material : andesite.
— Vegetation : Talasiga formation ; herbaceous strata : Dicranopteris linearis, Pteridium esculentum, Spathoglottis pacifica, Cordyline terminalis ; *ligneous strata :* Miscanthus floridulus, Casuarina equisetifolia, Geissois ternata.

A_1 - 0-15 cm. Moist ; dark brownish red, 2.5 YR 5/4 ; clay ; strong medium to fine blocky structure ; great macroporosity ; aggregates slightly porous ; friable ; abundant medium to fine roots ; clear smooth boundary.

A_3 - 15-30 cm. Moist ; brownish red 2.5 YR 5/6 ; clay ; moderately clear medium to fine blocky structure ; considerable macroporosity ; firm ; a few medium to fine roots ; gradual smooth boundary.

B_2 - 30-110 cm. Moist ; red, 2.5 YR 5/6 ; clay ; strong medium and fine blocky structure ; considerable macroporosity ; shiny peds ; firm ; few roots ; clear smooth boundary.

B_3 - 110-140 cm. Moist ; red, 2.5 YR 6/6 ; some yellow mottles ; loamy-clay ; moderately clear medium to coarse blocky structure ; slight macroporosity ; firm ; no roots.

Chromic luvisols LL 3

—Location : Lakeba, Nukunuku valley behind Waitabu ; elevation 20 m.
— Climate : oceanic tropical with a marked dry season ; precipitation : 2 000 mm/year.
— Position : broad valley bottom.
— Parent material : colluvio-alluvial formation derived from andesite.
— Vegetation : Talasiga formation ; herbaceous strata : Dicranopteris linearis, Nephrolepis sp. ; *ligneous strata :* Pandanus odoratissimus, Leucosyke corymbulosa, Dodonaea viscosa, Geniostoma uninervium, Melastoma denticulatum, Morinda citrifolia.

A_1 - 0-12 cm. Moist ; dark brownish red, 5 YR 4/2, with non-visible organic matter ; loamy-clay ; strong fine blocky structure some fine very weathered grits ; great macroporosity ; slightly porous aggregates ; friable abundant fine to medium roots ; clear smooth boundary.

A_3 - 12-30 cm. Moist ; reddish brown, 5 YR 5/3 ; clay-sand ; abundant coarse sand and small weathered andesitic gravels ; blocky structure ; great macroporosity ; porous aggregates ; vesicular porosity ; friable ; some fine to medium roots ; gradual smooth boundary.

B_1 - 30-50 cm. Moist ; reddish brown, 5 YR 5/3 ; sandy clay ; abundant coarse sand and small weathered andesilic gravels ; weak medium blocky structure : great macroporosity ; friable ; some fine roots ; clear smooth boundary.

B_2 - 50-160 cm. Moist ; reddish brown, 5 YR 5/3 ; clay ; abundant rounded weathered rock gravels ; weak subangular blocky structure ; great macroporosity ; clay skin on pores ; friable ; some medium to fine roots ; gradual smooth boundary.

B_3C - 160-230 cm. Moist ; reddish brown, 5 YR 6/3 ; some small grey and green mottles ; loam-clay ; single grain structure ; great macroporosity ; friable ; no roots.

Chromic luvisols LL 3

— Localisation : Lakéba, vallée de Nukunuku en arrière de Waitabu ; altitude 20 m.
— Climat : tropical océanique à saison sèche marquée ; pluviométrie 2000 mm/an.
— Site : large vallée.
— Matériau originel : colluvio-alluvions dérivées d'andésite.
— Végétation : formation à Talasiga ; strate herbacée : *Dicranopteris linearis, Nephrolepis sp.*, strate ligneuse : *Pandanus odoratissimus, Leucosyke corymbulosa, Dodonea viscosa, Geniostoma uninervium, Melastoma denticulatum, Morinda citrifolia.*

A_1 - 0-12 cm. Humide ; brun-rouge foncé 5 YR 4/2, à matière organique non directement décelable, limono-argileux, structure fragmentaire très nette, polyédrique fine ; quelques graviers fins très altérés ; volume des vides entre les agrégats très important ; agrégats peu poreux ; friables ; nombreuses racines moyennes et fines. Transition distincte et régulière.

A_3 - 12-30 cm. Humide ; brun-rouge 5 YR 5/3, argilo-sableux, très nombreux petits graviers altérés arrondis, structure fragmentaire nette polyédrique moyenne, volume des vides important entre les agrégats ; agrégats poreux, porosité vésiculaire ; friable ; quelques racines moyennes et fines. Transition graduelle et régulière.

B_1 - 30-50 cm. Humide ; brun-rouge 5 YR 5/3 ; sablo-argileux ; nombreux sables grossiers et petits graviers d'andésite altérée ; structure fragmentaire peu nette polyédrique moyenne ; volume des vides très important entre les agrégats ; friable ; quelques racines fines. Transition distincte et régulière.

B_2 - 50-160 cm. Humide ; brun-rouge 5 YR 5/3 ; argileux ; nombreux graviers arrondis de roche altérée ; structure fragmentaire peu nette, polyédrique subangulaire ; volume des vides très important entre les agrégats ; recouvrements argileux sur les pores ; friables ; quelques racines moyennes et fines. Transition graduelle et régulière.

B_3C - 160-230 cm. Humide ; brun-rouge 5 YR 6/3 ; quelques petites taches grises et vertes ; limono-argileux ; structure particulaire ; volume des vides important entre les agrégats ; friables, pas de racine.

Eutric cambisols (Forêt) LAK 3

— Localisation : Lakéba, pente à l'extrémité de la vallée de Tubou, altitude 40 m.
— Climat : tropical océanique à saison marquée ; pluviométrie : 2000 mm/an.
— Site : partie inférieure d'un versant à pente forte ; pente : 40 %.
— Matériau originel : andésite.
— Végétation : défrichement de forêt à *Geissois ternata* plantation de cocotier *Cocos nucifera,* arbre à pain *Artocarpus altilis* et lianes *Mikania micrantha.*

A_1 - 0-4 cm. Sec, rouge foncé 2,5 YR 3/2 ; humifère ; argilo-sableux ; structure fragmentaire nette, polyédrique subangulaire moyenne ; volume des vides entre les agrégats important ; bonne porosité ; très nombreuses racines fines ; moyennes et grosses. Transition nette et régulière.

A_3 - 4-35 cm. Sec ; rouge 10 R 4/4 ; apparemment peu humifère ; argileux ; structure fragmentaire très nette, polyédrique moyenne à grossière, surstructure prismatique ; quelques petits graviers de roche altérée ; volume des vides important entre les

Eutric cambisols (Forest) LAK 3

— Location : Lakeba, slope at end of Tubou valley, elevation 40 m.
— Climate : oceanic tropical with marked seasons ; precipitation 2000 mm/year.
— Position : lower part of steep (40 %) slope.
— Parent material : andesite.
— Vegetation : clearance of forest with Geissois ternata *to make way for plantation of coconuts* Cocos nucifera, *breadtree* Artocarpus altilis, *with creepers* Mikania Micrantha.

A_1 - 0-4 cm. Dry ; dark red, 2.5 YR 3/2 ; humiferous ; clayey sandy ; moderately clear medium subangular blocky structure ; great macroporosity ; good porosity ; abundant fine roots, some medium and large ; clear smooth boundary.

A_3 - 4-35 cm: Dry ; red 10 R 4/4 ; apparently only slightly humiferous ; clay ; strong medium to coarse blocky structure ; prismatic superstructure ; some small weathered rock gravels ; great macroporosity ; porous ; abundant medium to fine roots ; clear wavy boundary.

(B) C - 35-50 cm and over. Moist ; red, 10 R 4/8 ; clay ; abundant coarse weathered rock fragments ; moderately clear medium blocky structure ; considerable macroporosity ; porous shiny peds ; some fine roots.

Ferralic cambisols LS 11

— Location : Lakeba ; hill between Tubou and the airstrip : elevation 80 m.
— Climate : oceanic tropical with a marked dry season ; precipitation : 2000 mm/year.
— Position : summit of an eroded hill.
— Parent material : andesite.
— Vegetation : Talasiga formation ; herbaceous strata : Dicranopteris linearis *predominating ; ligneous strata :* Dodonea viscosa, Wickstroemia foetida, Casuarina equisetifolia, Pandanus odoratissimus, Morinda citrifolia, *etc. On the soil surface, some pinkish grits of weathered andesite.*

A_1 - 0-7 cm. Wet ; dark brownish red, 2.5 YR 4/2, with non-visible organic matter ; sandy clay ; many little grits of weathered andesite : moderately clear fine subangular blocky structure ; great macroporosity ; non-porous aggregates ; friable ; numerous fine roots, some medium ; clear smooth boundary.

A_3 - 7-20 cm. Wet ; brownish pink, 10 R 5/3 ; clay sand ; some weathered andesitic fragments ; weak medium to fine blocky structure ; great macroporosity ; friable ; numerous fine roots, some medium ; clear wavy boundary.

(B) C - 20-120 cm. Moist ; weak red, 10 R 5/3 ; some green-grey and white mottles ; silt loam ; rock preserved structure ; friable ; porous, with tubular pores ; no roots ; gradual irregular boundary.

C - 120 and more. Hard rock sometimes little weathered with onion skin weathering features.

Eutric cambisols (Reeds) LC 9

— Location : upper Tubou valley ; elevation 30 m.
— Climate : oceanic tropical with a marked dry season ; precipitation : 2000 mm/year.
— Position : Lower part of a steep slope ; 30 per cent slope.
— Parent material : andesite.

agrégats ; poreux ; nombreuses racines moyennes et fines. Transition distincte et ondulée.

(B) C - 35-50 cm et plus. Frais ; 10 R 4/8, rouge ; argileux ; nombreux éléments grossiers de roche altérée ; structure fragmentaire nette, polyédrique moyenne ; volume des vides assez important ; poreux ; faces luisantes ; quelques racines fines.

Ferralic cambisols LS 11

— Localisation : Lakéba colline entre Tubou et l'aérodrome ; altitude 80 m.
— Climat : tropical océanique à saison sèche marquée ; pluviométrie : 2000 mm/an.
— Site : sommet de colline érodée.
— Matériau originel : andésite.
— Végétation : formation à Talasiga ; strate herbacée : *Dicranopteris linearis* dominant ; strate arbustive : *Dodonea viscosa, Wickstroemia foetida. Casuarina equisetifolia, Pandanus odoratissimus, Morinda citrifolia...* En surface petits graviers roses de andésite altérée.

A_1 - 0-7 cm. Humide ; brun-rouge foncé 2,5 YR 4/2 ; à matière organique non directement décelable ; sablo-argileux ; nombreux petits graviers de andésite altérée ; structure fragmentaire nette, polyédrique subangulaire fine ; volume des vides importants entre les agrégats, agrégats non poreux ; friables ; nombreuses racines fines ; quelques moyennes. Transition distincte et régulière.

A_3 - 7-20 cm. Humide ; brun-rosé 10 R 5/3 ; argilo-sableux ; quelques éléments d'andésite altérée ; structure fragmentaire peu nette, polyédrique moyenne à fine ; volume des vides important ; friables ; nombreuses racines fines quelques moyennes. Transition distincte et ondulée.

C_1 - 20-120 cm. Frais, rosé 10 R 5/3, quelques taches gris-vert et blanches ; limoneux ; structure de la roche conservée ; friable ; poreux avec pores tubulaires ; pas de racines. Transition graduelle et irrégulière.

C_2 - 120 et plus. Roche dure parfois peu altérée avec altération en pelure d'oignon.

Eutric cambisols (Roseaux) LC 9

— Localisation : haute vallée de Tubou ; altitude 30 m.
— Climat : tropical océanique à saison sèche marquée, pluviométrie : 2000 mm/an.
— Site : partie inférieure d'un versant à forte pente ; pente 30 %.
— Matériau originel : andésite.
— Végétation : fourré à roseaux : strate herbacée : *Mimosa pudica, Nephrolepis sp., Hyptis pectinata ;* strate ligneuse : *Miscanthus floridulus, Pandanus odoratissimus, Psidium guajava.*

A_1 - 0-12 cm. Humide ; brun foncé 7,5 YR 4/2 ; à matière organique non directement décelable ; argileux ; structure fragmentaire très nette, grumeleuse à polyédrique fine ; volume des vides important entre les agrégats ; agrégats peu poreux ; friables ; plastique peu collant ; très nombreuses racines moyennes et fines. Transition distincte et régulière.

A_3 - 15-25 cm. Humide ; brun 7,5 YR 5/2 ; argileux ; quelques cailloux d'andésite peu altérée ; structure fragmentaire nette polyédrique moyenne à fine ; volume des vides important entre les agrégats ; plastique ; collant ; nombreuses racines moyennes et fines. Transition distincte et régulière.

— *Vegetation : reed thicket ; herbaceous strata :* Mimosa pudica, Nephrolepis sp., Hyptis pectinata ; *ligneous strata :* Miscanthus floridulus, Pandanus odoratissimus, Psidium guajava.

A_1 - 0-12 cm. Wet ; dark brown, 7.5 YR 4/2, with non-visible organic matter ; clay ; strong fine granular and fine blockly structure ; great macroporosity ; slightly porous aggregates ; friable ; plastic ; not particularly sticky : very abundant medium to fine roots ; clear smooth boundary.

A_3 - 15-25 cm. Wet ; brown, 7.5 YR 5/2 ; clay ; some slightly weathered andesitic stones ; strong medium to fine blocky structure ; great macroporosity ; plastic ; sticky ; abundant medium to fine roots ; clear smooth boundary.

(B) C - 25-45 cm. Wet ; light brown to pinkish brown : clay ; many slightly weathered andesitic stones ; strong medium to fine blocky structure ; great macroporosity ; slightly porous aggregates ; many medium to fine roots ; clear smooth boundary.

C - 45-60 cm. Wet ; pinkish white, 7.5 YR 6/3 ; clay ; strong medium blocky structure ; slight macroporosity ; plastic ; sticky ; some fine roots.

(B) C - 25-45 cm. Humide ; brun clair à brun rosé ; argileux ; nombreux caillous de roche peu altérée ; structure fragmentaire très nette polyédrique moyenne à fine ; volume des vides important entre les agrégats ; agrégats peu poreux ; nombreuses racines moyennes et fines. Transition distincte et régulière.

C - 45-60 cm. Humide, blanc rosé 7,5 YR 6/3 ; argileux ; structure fragmentaire très nette polyédrique moyenne ; volume des vides faible entre les agrégats, plastique, collant, quelques racines fines.

ANNEXE 4

Liste des plantes reconnues et localisation dans les différentes unités de végétation

List of plants identified and location in the different vegetation units

Les notations utilisées dans le tableau correspondent :
+ espèces présentes, + + espèces abondantes, + + + espèces dominantes
N espèces natives, I espèces introduites, C espèces cultivées

Notations used in this Table correspond to :
+ species present, + + species abundant, + + + species dominant
N native species, I introduced species, C cultivated species

Genre, Espèce/*Genus, species*	Famille/*Family*	Formations/*Associations*											Origine/ *Origin*
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Acrostichum aureum. Linn.	*Pteridaceae*			+ +									N
Agave sisalana. Perrine ex Engelm	*Agavaceae*										+		I
Alphitonia vieillardi. Lenorm	*Rhamnaceae*						+	+		+	+		N
Alternanthera sessilis. Linn	*Amaranthaceae*					+							I
Artocarpus altilis. Parkinson	*Moraceae*			+		+							C
Arytera brackenridgei. A. Gray	*Sapindaceae*		+										N
Asclepias currassavica. Linn.	*Asclepiadaceae*					+							I
Barringtonia petiolata. A.C. Smith	*Lecythidaceae*					+ +							N
Barringtonia racemosa. Linn.	*Lecythidaceae*			+		+ +							N
Brachiarea humidicola. Rendle	*Gramineae*			+				+					I
Bruguiera gymnorhiza. Linn.	*Rhizophoraceae*				+								N
Calophyllum inophyllum. Linn.	*Clusiaceae*			+									N
Calopogonium mucunoides. Desv.	*Papilionaceae*							+					I
Cananga odorata. Lam.	*Annonaceae*	+											N
Canarium vanikoroense. Leenhouts	*Burseraceae*	+											N
Carex sp.	*Cyperaceae*											+ +	N
Carica papaya. Linn.	*Caricaceae*					+							C
Casuarina equisetefolia. Linn.	*Casuarinaceae*							+ + +	+	+	+ +	+	N
Centella asiatica. Urban.	*Ombelliferaceae*					+						+	I
Cerbera manghas. Linn.	*Apocynaceae*	+					+ +	+ +	+	+ +	+		N
Cetronella vitiensis. Howard.	*Icacinaceae*							+					N
Clidemia hirta. Linn.	*Melastocaceae*									+			I
Cocos nucifera. Linn.	*Palmae*	+	+	+		+ + +	+	+					C
Coix lacrima-jobi. Linn.	*Gramineae*											+	I
Colocasia esculenta. Linn.	*Araceae*	+										+	C
Commersonia bartramia. Linn.	*Sterculiaceae*							+ +	+	+	+ +		N
Cordyline terminalis. Linn.	*Agavaceae*	+	+				+	+	+	+	+		N
Crassocephalum crepidioides. Benth	*Compositae*					+							I
Crotolaria mucronata. Desv.	*Papilionaceae*					+							I
Cuphea carthagenensis. Jacq.	*Lythraceae*					+							C
Culcita straminea. Labill.	*Pteridaceae*									+			N
Curcuma longa. Linn.	*Zingiberaceae*							+					*N*
Cyathea sp.	*Cyatheaceae*	+ +											N
Cyathocalyx insularis. A.C. Smith	*Annonaceae*		+ +										N
Cyrtosperma chamissonis. Schott	*Araceae*											+	C
Decaspermum fruticosum. Forst.	*Myrtaceae*							+		+	+		N
Desmodium heterophyllum. Willd.	*Papilionaceae*					+			+				I
Dicranopteris linearis. Burm.	*Gleicheniaceae*							+ +	+ +	+ + +	+ +		N

Genre, Espèce/*Genus, species*	Famille/*Family*	Formations/*Associations*											Origine/ *Origin*
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Dioscorea alata. Linn.	*Dioscoreaceae*	+	+										*C*
Dioscorea pentaphylla. Linn.	*Dioscoreaceae*	+											C
Diospyros globosa. A.C. Smith.	*Ebenaceae*	+				+							N
Dodonea viscosa. Linn.	*Sapindaceae*							+ +	+ +	+ + +	+ +		N
Elaeocarpus storkii. Seem.	*Tiliaceae*			+									N
Elatostema eximium. A.C. Smith	*Urticaceae*											+	N
Eleocharis dulcis. Burm. f.	*Cyperaceae*											+	N
Emelia sonchifolia. Linn.	*Compositae*					+							I
Entada phaseoloides. Linn.	*Mimosaceae*	+						+			+		N
Epipremnum pinatum. Linn.	*Araceae*	+											N
Erechtites valerianaefolia. Wolf	*Compositae*										+		I
Erythrina variegata. Linn.	*Papilionaceae*					+							N
Euphorbia hirta. Linn.	*Euphorbiaceae*							+					N
Ficus fulvo-pilosa. Summerhayes	*Moraceae*	+	+	+									N
Ficus oblique. Forst.	*Moraceae*		+ +			+							N
Fimbrystilis dichotoma. Linn.	*Cyperaceae*							+	+	+	+ +		N
Geissois ternata. A.C. Smith.	*Cunoniaceae*	+ +									+		N
Geniostoma uninervium. A.C. Smih	*Logoniaceae*			+				+					N
Grewia prunifolia. A. Gray	*Tiliaceae*			+						-			N
Glochidion seemanni. Muell. Arg.	*Euphorbiaceae*		+ +										N
Guettarda speciosa. Linn.	*Rubiaceae*			+		+							N
Hibiscus diversifolius. Jacq.	*Malvaceae*											+	N
Hibiscus tiliaceus. Linn.	*Malvaceae*			+		+							N
Hyptis pectinata. Linn.	*Labiateae*			+		+	+	+			+		I
Inocarpus fagiferus. Parkinson	*Caesalpiniaceae*			+ +		+							N
Ipomoea aquatica. Forsk	*Convolvulaceae*											+	*N*
Ipomoea batatas. Linn.	*Convolvulaceae*						+				+		C
Ipomoea congesta. R. Br.	*Convolvulaceae*			+									N
Ipomoea gracilis. R. Br.	*Convolvulaceae*	+		+		+		+			+		N
Leucosyke corymbulosa. Wedd.	*Urticaceae*								+				*N*
Lindsaea ensifolia. Swartz	*Pteridaceae*	+ +									+		N
Litsea pickeringii. A. Gray	*Lauraceae*		+ +										N
Ludwigia octovalvis. Raven	*Onagraceae*											+ +	I
Lycopodium cernuum. Linn.	*Lycopodiaceae*							+					N
Lygodium reticulatum. Schkuhr.	*Schizaeaceae*	+ +											N
Maesa tabacifolia. Mez.	*Myrsinaceae*							+					N
Malvastrum coromandelianum. Linn.	*Malvaceae*	+ +				+		+	+				I
Mangifera indica. Linn.	*Anacardiaceae*			+		+		+	+				C
Manihot esculenta. Crantz.	*Euphorbiaceae*	+ +	+			+	+	+	+				C
Melastoma denticulatum. Labill.	*Melastomataceae*							+	+	+	+		I
Melicope robusta. A.C. Smith.	*Rutaceae*	+				+							N
Messerschimidia argentea. Linn. f.	*Boraginaceae*					+							N
Metrosideros collina. Forst.	*Myrtaceae*							+		+	+		N
Microsorium scolopendria. Burm.	*Polypodiaceae*	+											N
Mikania micrantha. H.B. et K	*Compositae*	+ +		+		+	+	+				+	I
Mimosa invisa. Mart.	*Mimosaceae*											+	I
Mimosa pudica. Linn.	*Mimosaceae*					+ +	+	+					I
Miscanthus floridulus. Warb	*Gramineae*					+	+ + +	+	+ +	+	+ +		N
Morinda citrifolia. Kura.	*Rubiaceae*					+	+ +	+ +	+	+	+		N
Musa nana. Lour.	*Musaceae*	+	+			+							O
Mussaenda raiateensis J.W. Moore	*Rubiaceae*							+	+				N
Nephrolepis sp.	*Davalliaceae*	+ +	+ +			+	+	+ +	+ +	+	+	+ +	N
Ocimum gratissimum. Linn.	*Labiaceae*					+	+						I
Pandanus odoratissimus. Linn.	*Pandanaceae*	+ +	+	+ + +			+	+ +	+ +	+	+		N
Passiflora foetida. Linn.	*Passifloraceae*					+		+	+	+			I
Pennisetum polystachyon. Linn.	*Gramineae*							+			+		I
Physalis peruviana. Linn.	*Solanaceae*					+							I
Pinus caribaea. Morelot	*Pinaceae*							+	+	+			C
Piper methysticum. Forst.	*Piperaceae*	+	+										C
Piper timothianum. A.C. Smith.	*Piperaceae*	+	+										N
Polygala paniculata. Linn.	*Polygalaceae*							+		+	+		N
Pometia pinnata. J.R. et Forst	*Sapindaceae*					+							N
Premna taitensis. Schaver.	*Verbenaceae*					+							N
Psidium guajava. Linn.	*Myrtaceae*			+		+ +	+	+	+ +	+			I
Pteridium aquilinum. Forst.	*Pteridaceae*						+	+ + +	+ + +	+ +	+ +		N
Rhizophora spp.	*Rhizophoraceae*				+								N
Santalum yasi. Seem.	*Santalaceae*					+							N
Scaevola floribunda. A. Gray.	*Goodeniaceae*	+						+					N

Genre, Espèce/*Genus, species*	Famille/*Family*	Formations/*Associations*											Origine/ *Origin*
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Schizaea dichotoma. Linn.	*Schizaeaceae*							+					N
Scleria polycarpa. Boeck.	*Cyperaceae*											+	N
Sida rhombifolia. Linn.	*Malvaceae*					+							I
Spathoglottis pacifica. Reichb. f.	*Orchidaceae*									+	+		N
Spilanthes paniculata. Wall.	*Compositae*					+							I
Stachytarpheta urticaefolia. Sims	*Verbenaceae*					+ +		+ +	+	+ +			I
Tacca maculata. Seem.	*Taccaceae*						+	+	+	+			N
Terminalia catappa. Linn.	*Combretaceae*					+							N
Tripsacum laxum. Nash.	*Gramineae*											+ +	I
Urena lobata. Linn.	*Malvaceae*			+									I
Wikstroemia foetida. Linn. f.	*Thymelaeaceae*							+ +	+	+ +			N
Xanthosoma sagittifolium. Linn.	*Araceae*	+				+							I

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHY

AHRENS (L.H.), 1954. — The log normal distribution of the elements. Geochim. et cosmochim acta V5 : 49-73.

BACHELIER (G.), 1968. — Problèmes relatifs à l'atmosphère du sol et utilisation possible d'un détecteur de gaz pour la mesure de sa teneur en gaz carbonique. Cah. ORSTOM sér. Pédol. vol VI n° 1 : 95-104.

BARRAU (J.), 1956. — L'agriculture vivrière autochtone de la Nouvelle Calédonie. Commission du Pacifique Sud. Nouméa : 153 p.

BAYLISS-SMITH (T.P.), 1977. — Hurricane cal in North Lakeba : The view from 1975. In the Hurricane Hazard (H.C. BROOKFIELD ed.) UNESCO/UNFPA Island Report n° 1. Canberra ANU for UNESCO : 65-97.

BAYLISS-SMITH (T.P.), 1978. — Batiki in the 1970's satellite of Suva. In the small islands and the reefs (H.C. BROOKFIELD ed.) UNESCO/UNFPA Fiji island report n° 4 Canberra ANU for UNESCO : 67-128.

BAYLISS-SMITH (T.P.), 1979. — Population pressure, resources and welfare : Toward a more realistic mesure of carrying capacity - in environment, population and developpment in tropical island : report from the Fiji project M.A.B. Technical note n° 13. UNESCO Paris.

BEDFORD (R.D.), 1977. — Rural Taveuni : perspectives on population change - in Taveuni : Land population and production (H.C. BROOKFIELD ed.) UNESCO/UNFPA island report n° 3. Canberra A.N.U. for UNESCO : 85-244.

BEDFORD (R.D.), BROOKFIELD (M.), 1979. — Population change in Lakeba 1946-1976 : perspective on fertility and migration in Lakeba : resources, population and economy (H.C. BROOKFIELD ed.) UNESCO/UNFPA island report n° 5. Canberra A.N.U. for UNESCO.

BEVEGE (D.I.), RICHARD (B.N.), 1970. — Nitrogen in the growth of Araucaria cunninghamii ait. Underplanted in Pinus stands. Ecology vol. 51. n° 1 : 134-142.

BROOKFIELD (H.C.), HART (D.), 1966. — Rainfall in the tropical south west Pacific. A.N.U. Department of Geography publications n° G/3. Canberra.

BROOKFIELD (H.C.), 1978. — Land holding and land use on Taveuni island - in Taveuni : land population and production (H.C. BROOKFIELD ed.) UNESCO/UNFPA island report n° 3 Canberra ANU for UNESCO : 21-84.

BROOKFIELD (H.C.), HARDAKER (J.B.), 1978. — A preliminary note on copra production in Taveuni district and adjacent areas. UNESCO/UNFPA Fiji island report n° 3 : 299-309.

BROOKFIELD (M.), 1977. — Hurricane Val and its aftermath. Report on an inquiry among the people of Lakéba in 1976 - in The Hurricane hazard (H.C. BROOKFIELD ed.) UNESCO/ UNFPA island report n° 1. Canberra A.N.U. for UNESCO : 98-147.

BROOKFIELD (M.), 1979. — Land use population and the social economy of Lakéba - in Lakéba : resources, population and economy (H.C. BROOKFIELD ed.) UNESCO/UNFPA island report n° 5 Canberra A.N.U. for UNESCO.

BROOKS (P.R.), 1972. — Geobotany and Biogeochemistry in mineral exploitation — Harper and Mow pub. New-York.

CENTRAL PLANING OFFICE, 1975. — Fiji's seventh development plan, 1976-1980. Suva.

COLMET DAAGE (F.), LAGACHE (P.), 1965. — Caractéristiques de quelques groupes de sols dérivés de roches volcaniques aux Antilles Françaises. Cah. ORSTOM. sér. Pédol. Vol. III n° 2 : 91-122.

C.P.S./B.C.E.P., 1977. — Programme complet de gestion écologique. Commission du Pacifique Sud Nouméa : 73 p.

C.P.C.S., 1977. — Classification des sols. E.N.S.A. Grignon 87 p. multigr.

CORNFORTH (I.S.), 1970. — Reafforestation and nutrient reserves in the humid tropics. The J. of Appl. Ecology Vol. 7 n° 3 : 609-615.

COULSON (F.), 1975. — Geological map of Lakeba - map at 1:25000 - Geological survey bureau Suva.

DABIN (B.), 1963. — Etude pour la reconversion de la culture du Caféier en R.C.I. Tome N° 2, Ministère du plan Abidjan R.C.I.

DENIS (B.), 1976. — The soils of Lakéba and Taveuni : preliminary report. UNESCO/UNFPA population and environment project - Project working paper n° 1 : 1-26.

DENIS (B.), 1978. — A descriptive note on the soils of Taveuni - in Taveuni : Land, population and production (H.C. BROOKFIELD ed.) UNESCO/UNFPA island report n° 3 Canberra ANU for UNESCO : 13-19.

DICKINSON (W.R.), 1965. — Dissected erosion surfaces in North West Viti Levu. Geol. survey bureau Suva : 23 p.

DUCHAUFOUR (Ph.), 1948. — Recherches écologiques sur la chênaie atlantique française. Thèse ann. E.N.E.F. XI. 1. : 335 p.

F.A.O./U.N.E.S.C.O., 1974. — Soil map of the world Vol. 1, legend - UNESCO Paris : 59 p.

F.A.O., 1976. — A framework for land evaluation. Soil Bulletin n° 32 F.A.O. Rome : 72 p.

FOSBERG (F.R.), 1965. — The island ecosystem, in Man's place in the island ecosystem (FOSBERG ed.) — Bishop Museum press. Hawaï : 1-6.

FOYE (W.G.), 1917. — The geology of the Lau islands. Am. Journ. Sci. 4th ser. Vol. 43 : 343-350.

FROST (E.L.), 1970. — Archeological excavations of fortified sites on Taveuni, Fiji. Ph. D. Thesis in Anthropology, university of Oregon (University microfilms, Michaigan).

GARDINER (J.S.), 1898. — The coral reef of Funafuti, Rotuma and Fiji. Phil. Soc. Cambridge Proc. Vol. 9 : 417-503.

GEOLOGICAL SURVEY, 1975. — Geological map of Fiji at scale 1/500.000 Geol. Survey bureau- Suva.

GILL (J.B.), 1976. — Composition and age of Lau Basin and Ridge volcanic rocks : implication for evaluation of an inter-arc basin and remnant arc. Geol. Soc. Am. Bull. v 87 : 1384-1395.

GOLSON (J.), HUGHES (P.J.), 1976. — The appearance of plant and animal domestication in New Guinea - in J. GARANGER (ed.). La préhistoire océanienne. Colloque XXII, IX^{e} Congrès de l'Union Internationale des Sciences préhistoriques et protohistoriques C.N.R.S. Nice : 88-100.

HALLAIRE (M.), 1961. — Irrigation et utilisation des réserves naturelles. Annales agronomiques n° 12 (1) : 87-97.

HAYNES (P.H.), 1976. — Some aspects of agriculture in Taveuni and Lakéba. UNESCO/UNFPA project on population and environment in the eastern islands of Fiji. Project working paper n° 4 : 28 p.

HENIN (S.), GRAS (R.), MONIER (G.), 1969. — Le profil cultural - Masson et Cie, Paris : 332 p.

HERVIEU (G.), 1968. — Contribution à l'étude de l'alluvionnement en milieu tropical - Mémoire ORSTOM n° 24 ORSTOM Paris : 465 p.

HOCART (A.M.), 1929. — Lau islands, Fiji. B.P. Bishop Museum Bulletin n° 62 Honolulu.

HOPE (J.H.), HOPE (G.), 1976. — Paleo environments for man in New Guinea ; in R.L. KIRK and A.G. THORNE (eds.). The origin of the Australians - Human biology series n° 6. Australian Institute of Aboriginal studies. Canberra.

HUGHES (P.J.), HOPE (G.), LATHAM (M.), BROOKFIELD (M.), 1979. — Prehistoric man induced degradation of the Lakéba ladscape : evidence from two inland swamps - in Lakéba : resources, population and economy (H.C. BROOKFIELD ed.) UNESCO/UNFPA island report n° 5 Canberra ANU for UNESCO.

I.R.H.O., 1972. — L'I.R.H.O. au service de l'Océanie — I.R.H.O. Paris 10 p.

JAMET (R.), 1975. — Evolution des principales caractéristiques des sols des reboisements de Loudima (Congo). Cah. ORSTOM sér. Pédol. Vol. XIII n° 3/4 : 235-253.

LADD (H.S.), HOFFMEISTER (J.F.), 1945. — Geology of Lau Fiji. Bernice P. Bishop Museum Bull. 181.

LATHAM (M.), 1976. — On Geomorphology of Northern and Western New Caledonian ultra-mafic massifs in International Symposium of Geodynamics in South West Pacific Nouméa - Technip Paris éd : 235-244.

LATHAM (M.), 1977. — Ferrallitization in an oceanian tropical environment : Talasiga soils of Lakéba, Fiji. Proc. Clamatrops Conference 15-20 août 1977, Kuala Lumpur.

LATHAM (M.), DENIS (B.), 1979. — The study of land potential : an open ended enquiry - M.A.B. technical notes - UNESCO Paris.

LATHAM (M.), 1979. — Lakéba : the natural environment and land resource potential - in Lakéba : resources, population and economy (H.C. BROOKFIELD ed.) UNESCO/UNFPA island report n° 5 - Canberra ANU for UNESCO.

LENEUF (N.), 1959. — L'altération des granites calco-alcalins en Côte d'Ivoire forestière et les sols qui en sont dérivés. ORSTOM Paris : 210 p.

MAC LEAN (R.F.), 1977. — The hurricane hazard in the eastern islands of Fiji : an historical analysis 1875-1975 - in the hurricane hazard (H.C. BROOKFIELD ed.) UNESCO/UNFPA island report n° 1 Canberra ANU for UNESCO : 9-64.

MASEFIELD (R.O.G.), 1958. — A survey of the coconut areas of Fiji (Department of agriculture report) Suva.

MINISTERE DE LA COOPERATION, 1974. — Memento de l'agronome - Techniques rurales en Afrique - Ministère de la Coopération Paris : 1591 p.

MULCAHY (M.J.), CHURCHWARD (M.M.), 1973. — Quaternary environments and soils in Australia - Soil Sci. Vol. 116 n° 3 : 156-169.

PARHAM (J.W.), 1959. — The weeds of Fiji. Bull. n° 35 Dep. of Agriculture fiji : 196 p.

PARHAM (J.W.), 1972. — Plants of Fiji islands - Government printer Suva, 462 p.

QUANTIN (P.), 1969. — Note sur la fertilité de quelques sols en Nouvelle-Calédonie - ORSTOM Nouméa, 12 p. multigr.

QUANTIN (P.), 1972. — Les andosols - revue bibliographique des connaissances actuelles - Cah. ORSTOM, sér. Péd. Vol. X, n° 3 : 273-302.

QUANTIN (P.), 1976. — Sols des Nouvelles-Hébrides - ORSTOM Paris : 43 p.

SEGALEN (P.), 1974. — Sols ferralitiques, surfaces d'aplanissement anciennes et zones de tectonique et volcanisme récent. Pédologie Vol. 24, T. 2 : 147-163.

SERVANT (J.), 1974. — Un problème de géographie physique en Polynésie française : l'érosion exemple de Tahiti - Cah. ORSTOM, sér. Sci. Hum. Vol. XI, n° 3/4 : 203-209.

SHUTLER (R.), MARCK (J.C.), 1975. — On the dispersal of the Austronesian horticulturists. Archeology and Physical Antropology in Oceana 10 : 81-113.

STRONG (M.F.), 1975. — Environment and Man's future in the Pacific in Mankind's future (R.F. SEAGEL ed.). The University of British Columbia-Canada : 99-111.

TERCINIER (G.), 1971. — Contribution à la connaissance des phénomènes de bauxitisation et d'allitisation. Les sols de karst d'atolls surélevés du Sud-Ouest Pacifique - Cah. ORSTOM, sér. Pédol. Vol. IX, n° 3 : 307-334.

THOMAS (W.L.), 1965. — The variability of physical environments among Pacific islands in Man's place in the island ecosystem (F.R. FOSBERG ed.) Bishop Museum press : 7-38.

THOMPSON (L.), 1940. — Southern Lau : an ethnology. Bernice P. Bishop Museum. Bull. n° 162 : 215 p.

TRESCASES (J.J.), 1975. — L'évolution chimique supergène des roches ultrabasiques en zone tropicale et la formation des gisements nickélifères de Nouvelle-Calédonie. Mém. ORSTOM n° 78, ORSTOM Paris.

TRICART (J.), 1965. — Principes et méthodes de la géomorphologie - Masson et Cie, éd. Paris : 496 p.

TWYFORD (J.T.), WRIGHT (A.C.S.), 1965 - The soil resources of the Fiji islands. Fiji government printer 2 Vol.

UNESCO, 1973. — International classification and mapping of vegetation - UNESCO, Paris : 93 p.

UNESCO/UNFPA, 1977. — Population, resources and development in the eastern islands of Fiji : information for decision making. General report n° 1. Canberra A.N.U. for UNESCO : 407 p.

U.S. DEPT. of AGRICULTURE, 1975. — Soil taxonomy : a basic system of soil classification for making and interprating soil surveys. Handbook 436 US Gov. Printing Office : Washington DC.

VAISSEREAU, 1960. — Méthodes statistiques en biologie et en agronomie - Lib. J.B. BAILLERE : 538 p.

VERGARA (N.T.), 1976. — Shifting agriculture in the humid tropics : Analysis and control 10th Waigani Seminar Lae May 3-8, 1976 : 14 p.

WARD (R.G.), 1969. — Land use and land alienation in Fiji to 1885 - Journal of Pacific history 4 : 3-26.

WARD (R.G.), 1972. — The Pacific bêche-de-mer trade, with special reference to Fiji - in man in the Pacific islands (WARD R.G. 2d.) Oxford.

WILKES (C), 1845. — Narrative of the United States exploring expedition - London.

WEISSE (G. de), 1970. — Bauxite sur un atoll du Pacifique. L'île de Rennel dans l'archipel des Salomons. Mineral deposita, Vol. 5, T. 2 : 181-183.

ZEBROWSKI (C.), 1975. — Etude d'une climatoséquence dans l'île de la Réunion. Cah. ORSTOM, Sér. Pédol. Vol. XIII, n° 3/4 : 255-278.

Achevé d'imprimer
sur les presses de COPÉDITH
7, rue des Ardennes, 75019 Paris
Juin 1983

Dépôt légal n° 4556

FIDJI _ FIJI

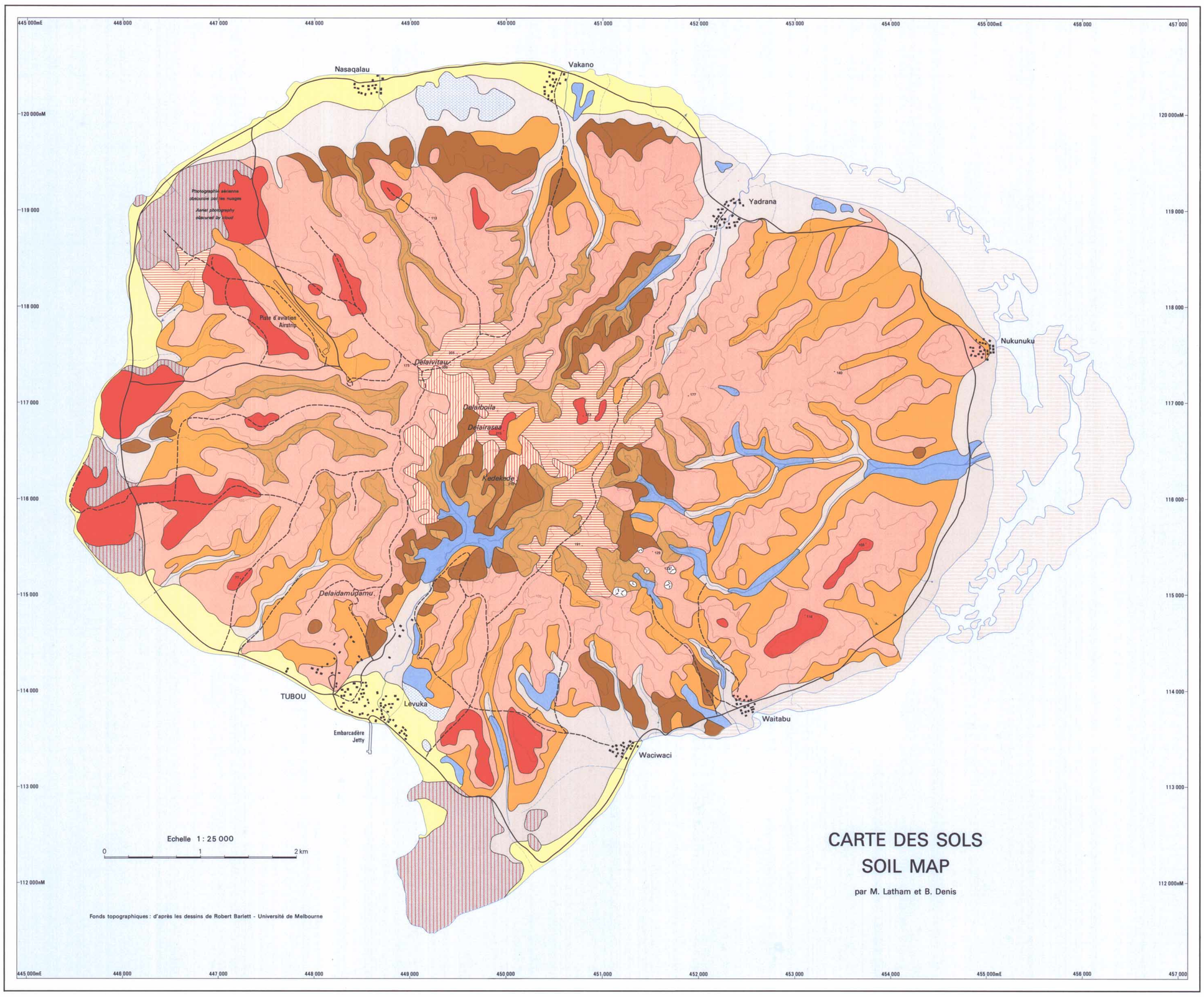
LAKÉBA

MILIEU TERRESTRE _ TERRESTRIAL ENVIRONMENT

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC
AND CULTURAL ORGANISATION
UNITED NATIONS FUND FOR POPULATION ACTIVITIES



Classification F. A. O. - *F. A. O. Classification*

- 13 *Histosols*
- 1 *Lithosols*
- 2 *Lithosols and rhodic ferralsols*
- 3 *Thionic fluvisols*
- 4 *Eutric fluvisols*
- 14 *Humic gleysols*
- 5 *Rendzinas*
- 10 *Humic ferralsols*
- 11 *Acric ferralsols*
- 9 *Rhodic ferralsols*
- 8 *Chromic luvisols*
- 12 *Ferralic cambisols*
- 7 *Eutric cambisols under forest*
- 6 *Eutric cambisols under reeds*

Classification française - *French classification*

SOLS MINÉRAUX BRUTS

- 1 sur conglomérat andésitique
- 2 sur calcaire et sols ferrallitiques fortement désaturés, typiques sur calcaire

SOLS PEU ÉVOLUÉS, d'origine non climatique

- 3 d'apport marin
- 4 d'apport alluvial

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES, carbonatés

- 5 rendzines, sur plaines côtières coralliennes

SOLS BRUNIFIÉS, des pays tropicaux

- 6 bruns eutrophes, peu évolués, sur andésite et calcaire
- 7 bruns eutrophes, humiques, sur andésite

SOLS FERSIALLITIQUES désaturés

- 8 lessivés, modaux, sur colluvio-alluvions dérivées d'andésite

SOLS FERRALLITIQUES fortement désaturés

- 9 typiques, modaux, sur andésite et calcaire
- 10 typiques, humiques, sur andésite
- 11 appauvris, faiblement remaniés, sur andésite et calcaire
- 12 rajeunis par érosion, sur andésite

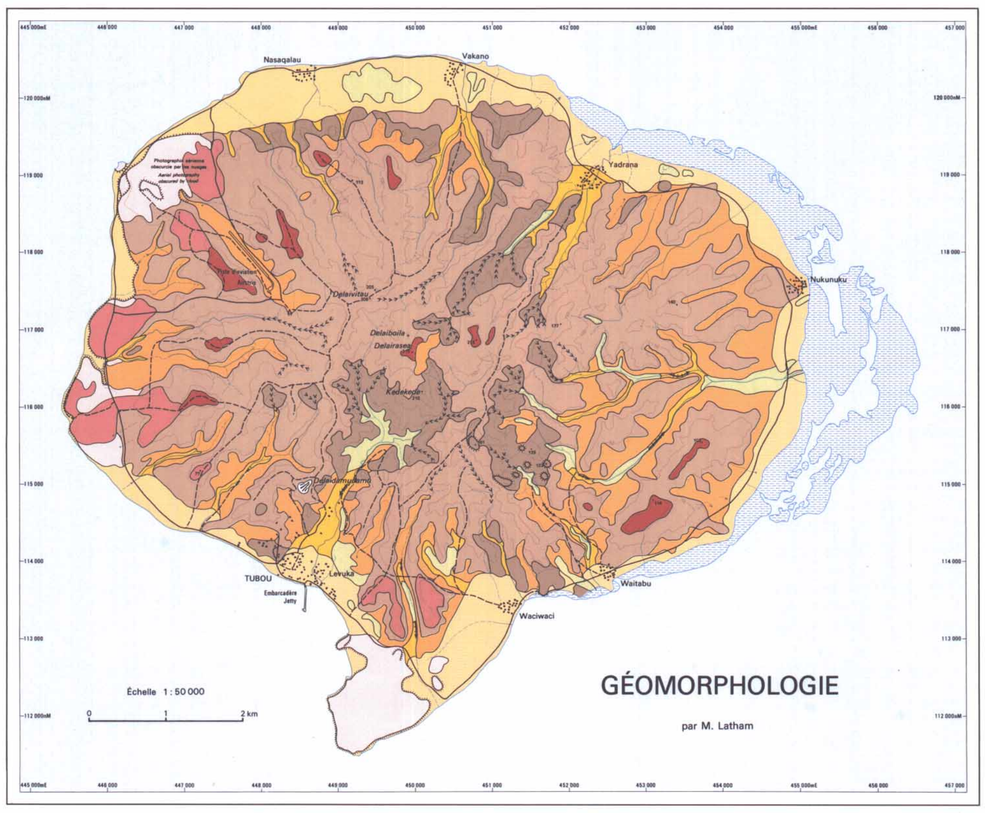
SOLS HYDROMORPHES

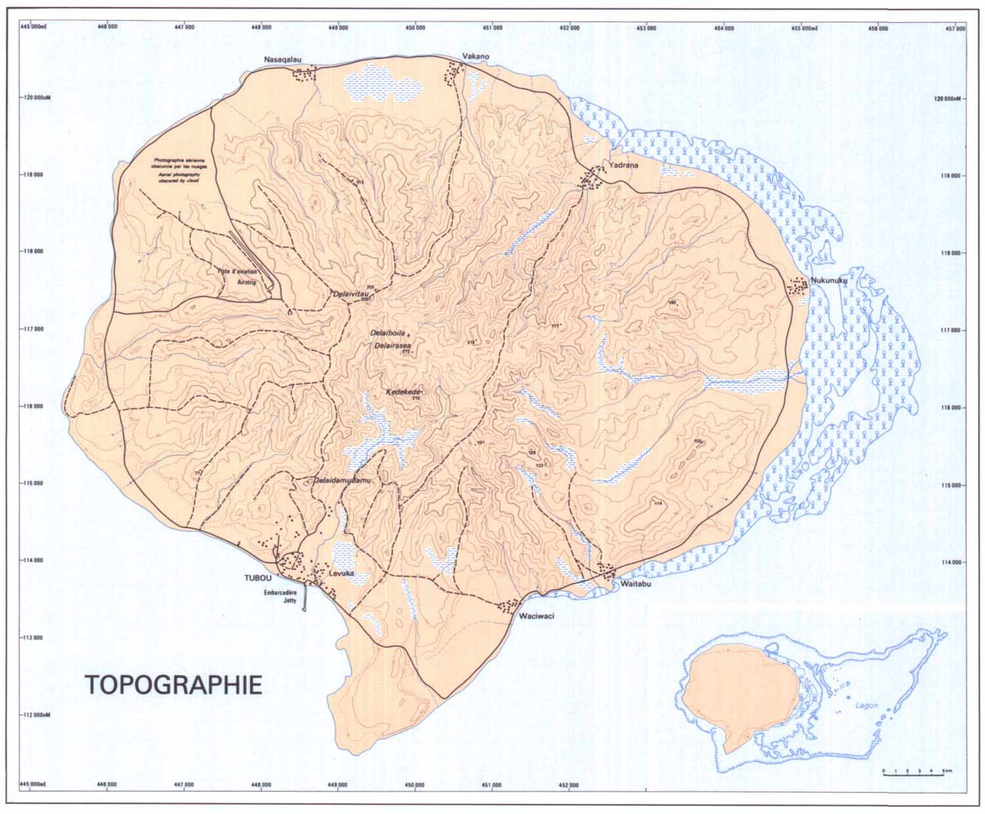
organiques

- 13 semi-fibreux, oligotrophes, de la plaine côtière

moyennement organiques

- 14 humiques à gley, à anmoor acide, sur alluvions





Formes d'ablation - *Ablation landforms*

- Culots volcaniques, conglomératiques, dénudés
  Bare rock, conglomeratic, volcanic plugs
- "Bad lands" sur altération profonde de roches volcaniques
  Bad lands on deeply weathered volcanics
- Versants à forte pente, sur roches volcaniques et calcaires présentant une altération peu profonde
  Steep slopes on shallow weathered volcanics and limestones
- Versants à pente moyenne et sommets sur roches volcaniques présentant une altération ferrallitique profonde
  Slopes and summits on deep ferrallitic weathered volcanics

Formes d'accumulation - *Accumulation landforms*

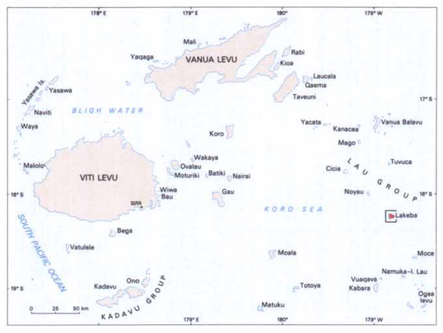
- Plateaux niveau 1 a sur roches volcaniques, recouverts de formations bauxitiques manganésifères
  Bauxitic and manganic formations on 1 a level plateaus derived from volcanics
- Plateaux niveau 1 b sur roches volcaniques et calcaires recouverts de formations bauxitiques manganésifères
  Bauxitic and manganic formations on 1 b level plateaus derived from volcanics and limestones
- Dépôts colluvio-alluviaux anciens, d'origine volcanique
  Older colluvial and alluvial deposits of volcanic origin

- Plaine côtière
  Coastal plain
- Plaines alluviales récentes
  Recent alluvial deposits
- Zones marécageuses
  Swamps
- Mangrove
  Mangrove

Formes de relief particulières - *Special landforms*

- Relief karstique
  Karst
- Rapides
  Rapids
- Falaise
  Cliff
- Vallée aveugle
  Blind valley
- Talweg en V avec cascade
  V shaped valley with waterfall

SERVICE CARTOGRAPHIQUE DE L'O.R.S.T.O.M. 1981



Préparé pour le projet UNESCO/UNFPA d'étude de la population et de l'environnement (Fidji).
Fond topographique restitué dans l'atelier de cartographie du "Canberra College of Advanced Education", à partir de photographies aériennes fournies par le "Department of Lands" Fidji.
Contrôle horizontal basé sur les coordonnées du point Delaidamudamu et sur les relèvements et les distances d'une transversale de contrôle comme indiqué sur le plan du géomètre Parker, daté du 15-2-1971, fourni par la section hydrographique du "Department of Lands, Mines and Survey" Fidji. Les coordonnées sont empruntées au système Cassini-Soldner ; l'origine et les dimensions de l'ellipsoïde de référence sont inconnues.
Carte dessinée par Robert Barlett, Université de Melbourne.

Produced for the UNESCO/UNFPA Population and Environment Project (Fiji).
Base map compiled in the Cartographic Laboratory Canberra College of Advanced Education, from aerial photographs supplied by the Department of Lands, Fiji.
Horizontal control based on coordinates of point Delaidamudamu and bearings and distances of a control traverse as shown on a plan of Surveyor Parker, dated 15-2-1971 supplied by the Hydrographic Section Department of Lands, Mines and Surveys, Fiji.
Coordinates are assumed to be Cassini-Soldner ; the origin and dimensions of the reference ellipsoid are unknown.

- Route principale normalement praticable
  Main road normally motorable
- Route forestière et piste principale
  Forestry road and main track
- Village
  Village
- Cours d'eau permanent
  Permanent stream
- Cours d'eau intermittent
  Intermittent stream
- Zone marécageuse
  Swamp
- Mangrove
  Mangrove
- Vallée aveugle
  Blind valley
- Rivière souterraine
  Underground river

- Kedekede, Sommet
  Peak
- 181 Point coté
  Spot height
- Courbe de niveau maîtresse (100 mètres)
  Index contour at 100 metres intervals
- Courbe de niveau (20 mètres)
  Contour at 20 metres intervals
- Courbe de niveau intercalaire (10 mètres)
  Supplementary 10 metres contour

© O.R.S.T.O.M. 1981

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER
Publication et Diffusion
70-74, route d'Aulnay - 93140 BONDY - FRANCE

Impression IMPACT GRAPHIC - FRANCE - Ø 261-96-11

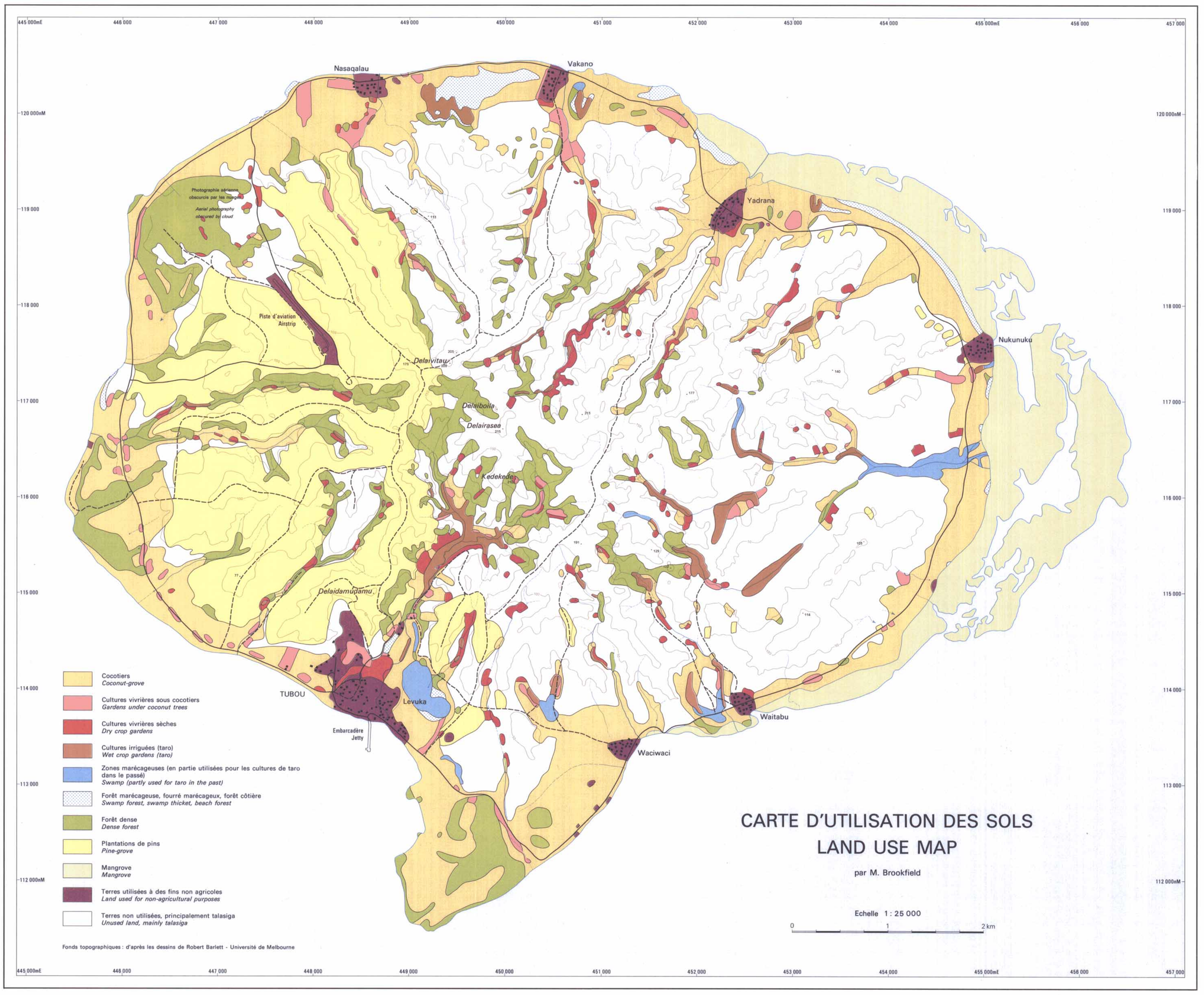
FIDJI _ FIJI

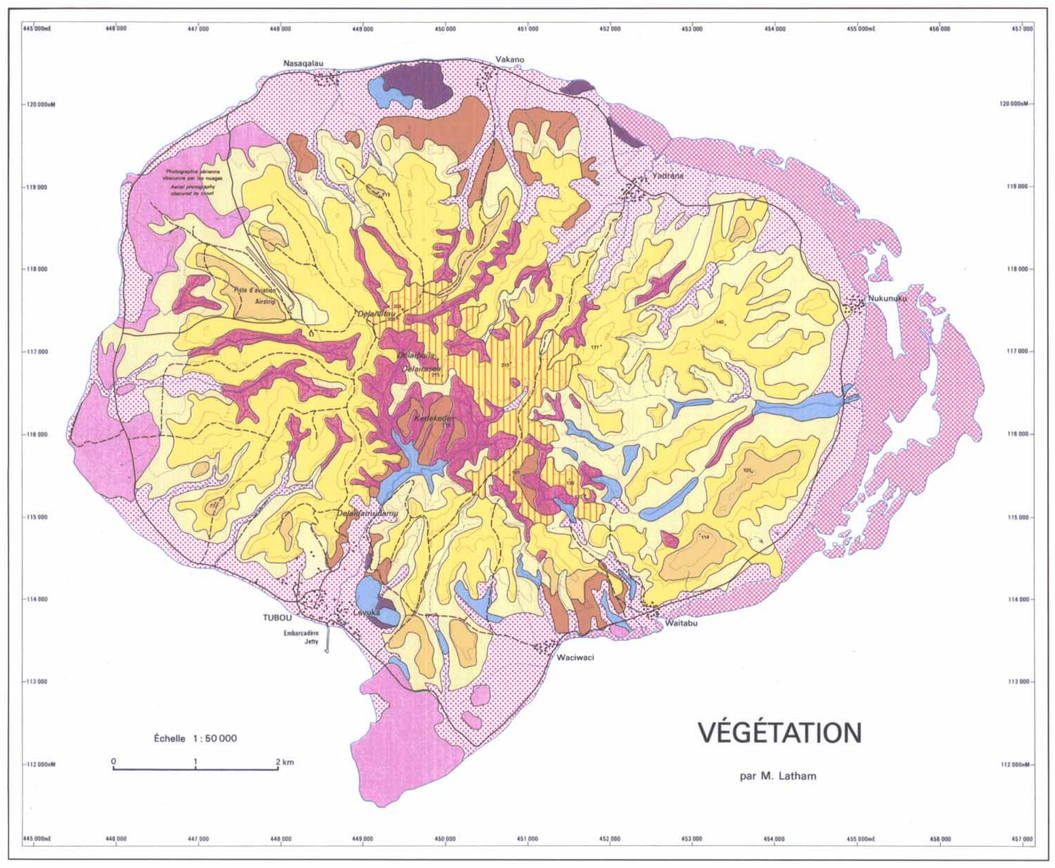
LAKÉBA

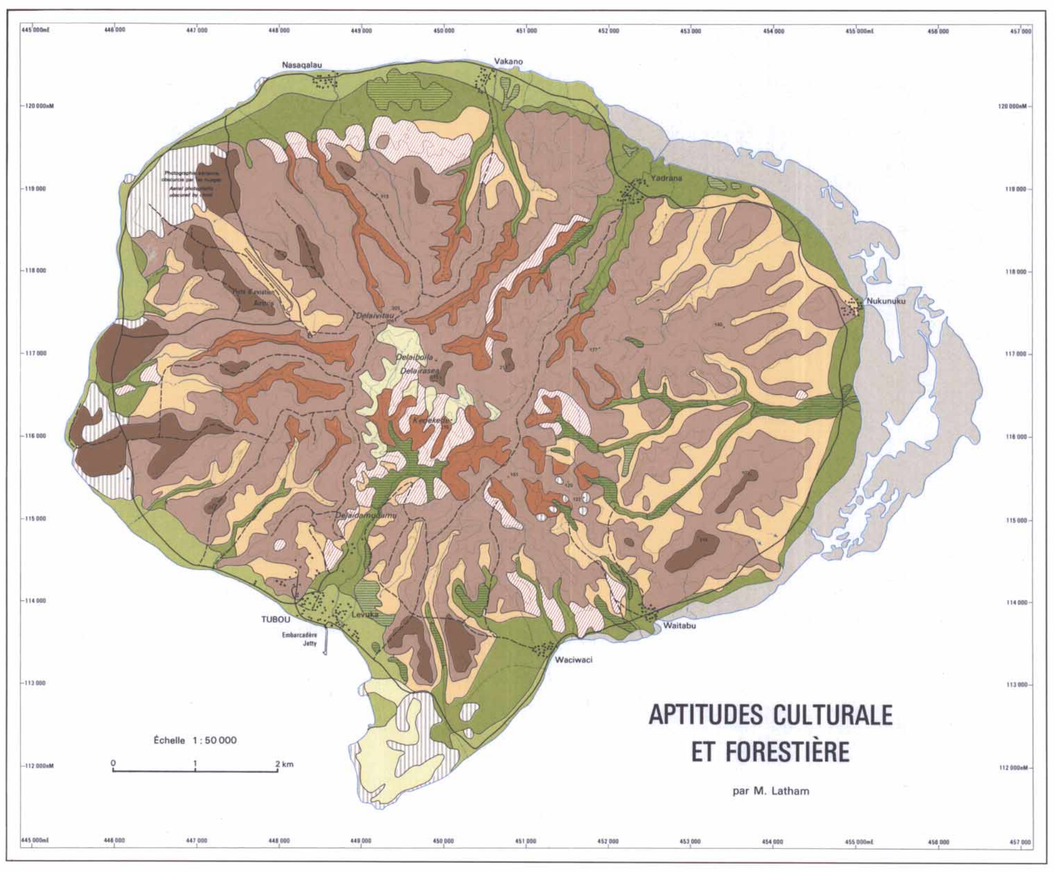
UTILISATION DU MILIEU _ ENVIRONMENT USE

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC
AND CULTURAL ORGANISATION
UNITED NATIONS FUND FOR POPULATION ACTIVITIES







Forêt dense - *Closed forest*

Forêt sempervirente ombrophile tropicale - *Tropical evergreen ombrophilous forest*

Forêt à *Geissois ternata*
Geissois ternata forest

Forêt à *Cyathocalix insularis, Ficus oblica* et *Litsea pinkeringii*
Cyathocalix insularis, Ficus oblica and Litsea pinkeringii forest

Forêt ombrophile tropicale marécageuse - *Tropical ombrophilous swamp forest*

Forêt à *Inocarpus fagiferus* et *Pandanus odoratissimus*
Inocarpus fagiferus and Pandanus odoratissimus forest

Forêt de mangrove - *Mangrove forest*

Forêt à *Rhizophora spp.*
Rhizophora spp. forest

Plantations de cocotiers - *Coconut plantations*

Formation à *Cocos nucifera*
Cocos nucifera formation

Fruticée - *Scrub*

Fruticée sempervirente - *Evergreen scrub*

Fourré à *Miscanthus floridulus* (roseaux)
Miscanthus floridulus (reeds) thicket

Végétation herbacée - *Herbaceous vegetation*

Végétation à forbes hautes (talasiga) - *Tall forb communities (talasiga)*

Fougeraie à *Pteridium esculentum* et *Dicranopteris linearis* et synusie ligneuse abondante
Pteridium esculentum and Dicranopteris linearis fern thicket with a rich woody synusia

Fougeraie mixte à *Dicranopteris linearis* et à *Miscanthus floridulus* et synusie ligneuse réduite
Dicranopteris linearis and Miscanthus floridulus mixed thicket with a poor woody synusia

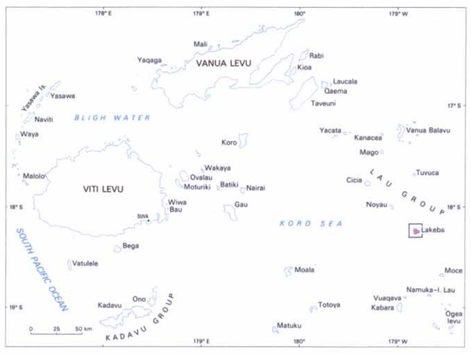
Végétation à forbes basses (talasiga) - *Low forb communities (talasiga)*

Fougeraie à *Dicranopteris linearis* dominant et à synusie ligneuse réduite
Dicranopteris linearis predominating fern thicket with a poor woody synusia

Fougeraie mixte à *Dicranopteris linearis, Pteridium esculentum, Miscanthus floridulus* et nombreuses adventices et à synusie ligneuse réduite
Dicranopteris linearis, Pteridium esculentum, Miscanthus floridulus mixed thicket with a poor woody synusia

Végétation hydromorphe des eaux douces - *Hydromorphic fresh water vegetation*

Communauté enracinée tropicale à cypéracées *Ludwigia octovalvis* et *Mikania micrantha*
Cyperacaea Ludwigia octovalvis and Mikania micrantha rooted tropical communauties



SERVICE CARTOGRAPHIQUE DE L'O.R.S.T.O.M. 1981

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER
Publication et Diffusion
70-74, route d'Aulnay - 93140 BONDY - FRANCE

CATÉGORIES DE TERRAINS *LAND UNITS* / APTITUDES CULTURALES *LAND SUITABILITY*			Cultures annuelles mécanisables *Mechanizable annual crops*	Cultures de terrains humides *Wet land crops*	Cultures de subsistance *Subsistence crops*	Cultures de subsistance peu exigeantes *Undemanding subsistence crops*	Pâturages artificiels *Artificial pastures*	Plantations arborées et arbustives *Tree and shrub crops*	Plantations forestières *Forestry plantations*
Qualité agrologique - *Cultivability*	Sensibilité à l'érosion - *Susceptibility to erosion*								
bonne *good*	peu sensible *low susceptibility*	Plaines alluviales et côtières. Fluvisols eutriques, sous cocotiers. *Alluvial and coastal plains. Eutric fluvisols, under coconut trees*	+++	–	+++	–	+++	+++	–
		Zones marécageuses. Gleysols humiques, sous prairies régulièrement cultivées en taro. *Swamps. Humic gleysols; under herbaceous vegetation, regularly cultivated in taro*	–	+++	–	–	–	–	–
moyenne *medium*	peu sensible *low susceptibility*	Plaine côtière. Rendzines, sous cocotiers. *Coastal plain. Rendzines under coconut trees*	–	–	–	++	++	+++	–
		Zones marécageuses. Histosols et gleysols, sous prairies. *Swamps. Histosols and gleysols, under herbaceous vegetation*	–	++	–	–	–	–	–
	sensible *moderate susceptibility*	Zones sommitales à pentes moyennes. Ferralsols humiques, sous forêt. *Summit zones, with moderate slopes. Humic ferralsols, under forest*	–	–	++	++	–	++	++
	sensible *moderate susceptibility*	Terrasses colluviales. Luvisols chromiques, sous talasiga. *Colluvial terraces. Chromic luvisols, under talasiga*	++	–	–	++	+	+	+++
médiocre *poor*	très sensible *very severe susceptibility*	Pentes fortes. Cambisols eutriques, sous forêt. *Steep slopes. Eutric cambisols, under forest*	–	–	++	++	–	+	–
		Bas de pente forte. Cambisols eutriques, sous végétation de roseaux. *Lower parts of steep slopes. Eutric cambisols, under reeds*	–	–	–	++	–	+	–
très médiocre *very poor*	peu sensible *low susceptibility*	Plateaux. Ferralsols acriques, sous talasiga. *Plateaux. Acric ferralsols, under talasiga*	–	–	–	+	+	+	+++
	très sensible *very severe susceptibility*	Collines à pentes moyennes. Cambisols ferraliques et ferralsols rhodiques, sous talasiga. *Hills with moderate slopes. Ferralic cambisols and rhodic ferralsols, under talasiga*	–	–	–	–	+	–	++
mauvaise *uncultivable*	peu sensible *low susceptibility*	Mangroves. Fluvisols thioniques, sous végétation forestière. *Mangroves. Thionic fluvisols, under forest*	–	–	–	–	–	–	–
	très sensible *very severe susceptibility*	Zones très accidentées. Cambisols eutriques et lithosols, sous forêt. *Broken landform. Eutric cambisols and lithosols, under forest*	–	–	–	–	–	–	–

+++ Très bonne aptitude *Very good suitability* ++ Bonne aptitude *Good suitability* + Faible aptitude *Low suitability* – A éliminer *No suitability*

Impression IMPACT GRAPHIC - FRANCE - N° 281 8-6-11

© O.R.S.T.O.M. 1981

FIDJI _ FIJI

TAVEUNI

MILIEU TERRESTRE _ TERRESTRIAL ENVIRONMENT

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

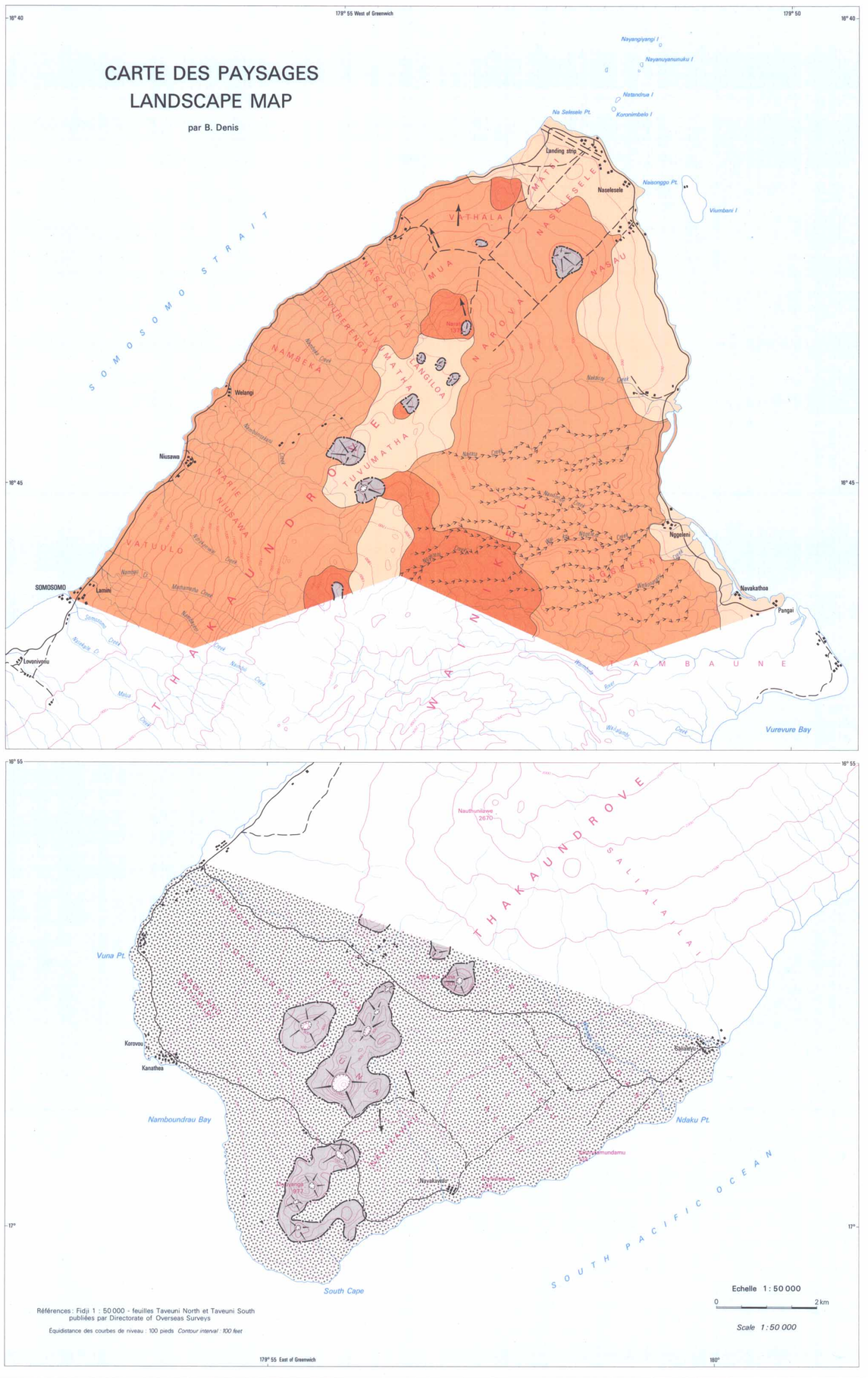
UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC
AND CULTURAL ORGANISATION
UNITED NATIONS FUND FOR POPULATION ACTIVITIES

CARTE DES PAYSAGES
LANDSCAPE MAP

par B. Denis

CARTE DES SOLS
SOIL MAP

par B. Denis



Références : Fidji 1 : 50 000 - feuilles Taveuni North et Taveuni South publiées par Directorate of Overseas Surveys

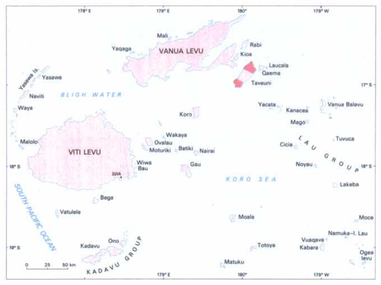
Équidistance des courbes de niveau : 100 pieds *Contour interval : 100 feet*

Morphologie des paysages - *Landscape forms*

- Pentes faibles (inférieures à 8 %) *Gentle undulating slopes (less than 8 %)*
- Pentes moyennes (entre 8 et 30 %) *Medium slopes (between 8 and 30 %)*
- Pentes fortes et très fortes (supérieures à 30 %) *Steep slopes (more than 30 %)*
- Thalwegs en V *V shaped valleys*

Volcanisme - *Volcanism*

- Nappe de matériel pyroclastique *Pyroclastic material flow*
- Bord de cratère *Crater brink*
- Cônes et cratères *Cones and craters*
- Direction des épanchements les plus récents *Direction of the most recent volcanic overflows*



SERVICE CARTOGRAPHIQUE DE L'O.R.S.T.O.M. 1981

© O.R.S.T.O.M. 1981

impression IMPACT GRAPHIC - n° 261-56-11

Classification française (C.P.C.S.)
French classification (C.P.C.S.)

SOLS PEU ÉVOLUÉS d'apport marin
- à texture fine, de zone plane

SOLS CALCIMAGNÉSIQUES carbonatés, rendzines
- à texture grossière, de zone plane

ANDOSOLS
peu désaturés, humiques
sur lapillis, à texture moyenne ou grossière
- de pentes moyennes et faibles
- de pentes fortes

différenciés, désaturés, chromiques
sur coulées basaltiques, à texture moyenne
- avec ou sans éléments grossiers, de zones largement ondulées, et de pentes de collines
- avec éléments grossiers à une profondeur plus ou moins importante, de zones largement ondulées

peu désaturés, humiques et différenciés chromiques
sur lapillis, à texture moyenne, profonds

SOLS FERRALLITIQUES
plus ou moins désaturés, andiques, gibbsitiques, de climat perhumide
sur coulées basaltiques
- à texture fine ou moyenne, avec ou sans éléments grossiers, de zones largement ondulées
- à texture fine, sans éléments grossiers, de pentes de collines
- à texture fine, avec éléments grossiers, de pentes de collines

sur coulées basaltiques, avec éléments grossiers dès la surface
- de zones largement ondulées
- de pentes de collines
- de zones accidentées

faiblement désaturés en (B), rajeunis, à métahalloysite ou halloysite, de climat humide
- sur coulées basaltiques à texture fine, sans éléments grossiers, de zones largement ondulées

Classification F.A.O.
F.A.O. Classification

THIONIC FLUVISOLS
- *fine textured, level to gently undulating*

RENDZINAS
- *coarse textured, level to gently undulating*

MOLLIC ANDOSOLS
on lapillis, medium to coarse textured,
- *rolling to hilly and level to gently undulating*
- *steeply dissected*

HUMIC ANDOSOLS
on basaltic flows, medium textured
- *deep phase, level to gently undulating and petric phase rolling to hilly*
- *petric or stony phase, level to gently undulating*

HUMIC AND MOLLIC ANDOSOLS
- *on lapillis, medium textured, deep phase*

HUMIC FERRALSOLS
on basaltic flows
- *fine to medium textured, deep or petric phase, level to gently undulating*
- *fine textured, deep phase, rolling to hilly*
- *fine textured, petric phase, rolling to hilly*

on basaltic flows, fine to medium textured, stony phase
- *level to gently undulating*
- *rolling to hilly*
- *steeply dissected*

FERRALIC CAMBISOLS
- *on basaltic flows, fine textured, deep phase, level to gently undulating*

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER
Publication et Diffusion
70-74, route d'Aulnay - 93140 BONDY - FRANCE

FIDJI _ FIJI

TAVEUNI

UTILISATION DU MILIEU _ ENVIRONMENT USE

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

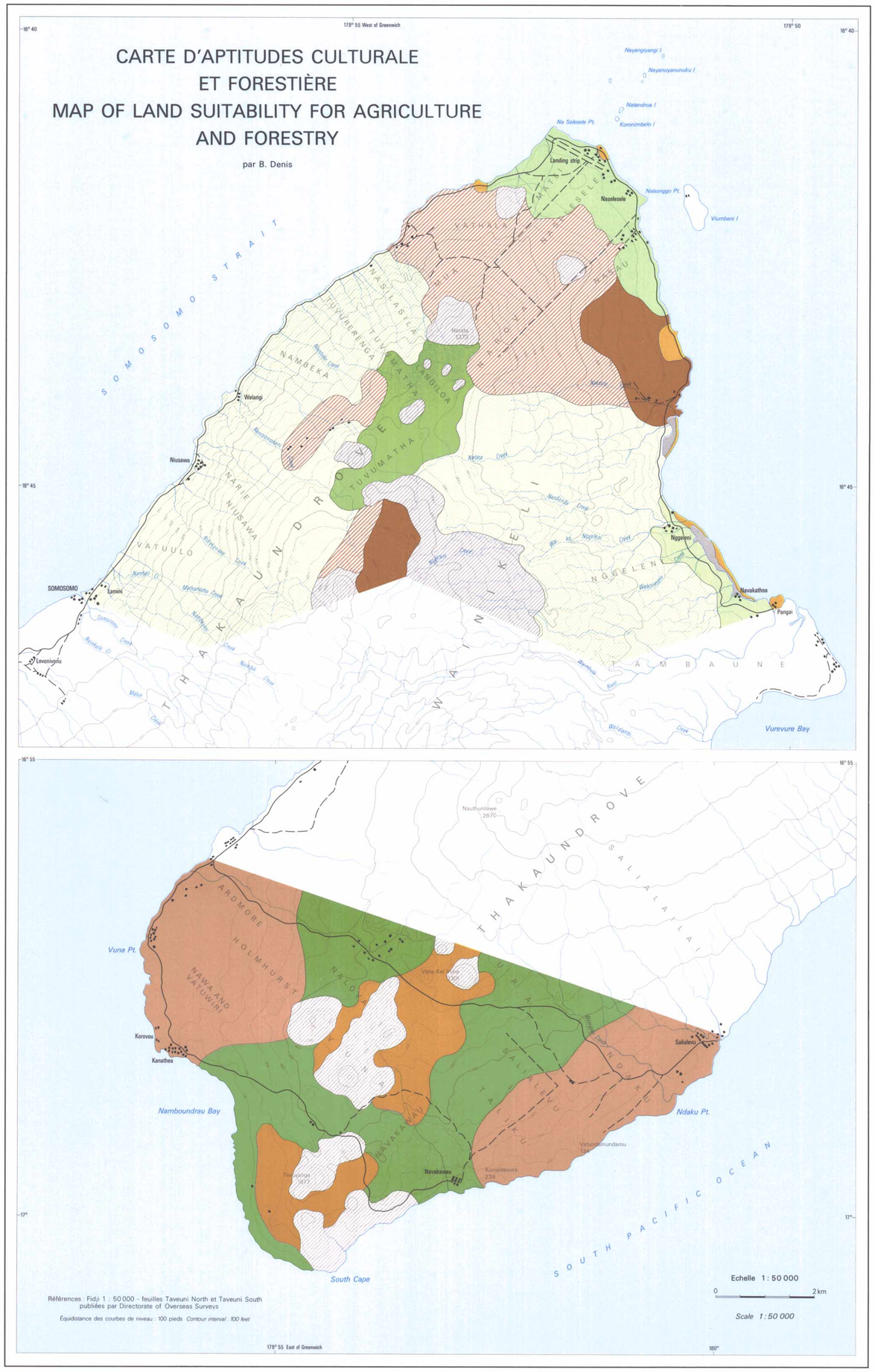
UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC
AND CULTURAL ORGANISATION
UNITED NATIONS FUND FOR POPULATION ACTIVITIES

CARTE D'APTITUDES CULTURALE ET FORESTIÈRE
MAP OF LAND SUITABILITY FOR AGRICULTURE AND FORESTRY

par B. Denis

CARTE D'UTILISATION DES SOLS
LAND USE MAP

par M. Brookfield



Références : Fidji 1 : 50 000 - feuilles Taveuni North et Taveuni South publiées par Directorate of Overseas Surveys

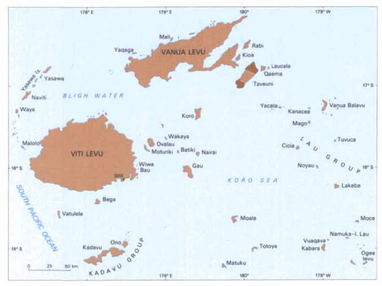
Équidistance des courbes de niveau : 100 pieds *Contour interval : 100 feet*

CATÉGORIES DE TERRAINS / *LANDS UNITS*			APTITUDES CULTURALES / *LAND SUITABILITY*	Cultures annuelles mécanisables *Mechanisable annual crops*	Cultures de subsistance *Subsistence crops*	Pâturages artificiels *Artificial pastures*	Plantations arborées et arbustives *Tree and shrub crops*	Plantations forestières *Forestry plantations*
Qualité agrologique - *Cultivability*	Sensibilité à l'érosion - *Susceptibility to erosion*							
exceptionnelle *exceptionnal*	peu sensible *low susceptibility*		Piémont autour des cônes volcaniques. Andosols humiques. Régulièrement cultivé en cultures vivrières *Around volcanic cones. Humic andosols. Always cultivated with subsistence crops*	+++	+++	+++	+++	+++
bonne *good*	peu sensible *low susceptibility*		Zones de plateau (nord de l'Ile). Ferralsols humiques avec horizon grossier à moins de 100 cm *Plateau (north of the island). Humic ferralsols, with petric phase (pebbles at less than 100 cm)*	++	++	+++	++	+++
			Zones basses au pied des collines (nord de l'Ile). Cambisols ferraliques, souvent sous cocotiers *Flat areas at the foot of the hills (north of the island). Ferralic cambisols, often under coconut trees*	++	++	+++	++	+++
	sensible *moderate susceptibility*		Pentes moyennes et fortes. Ferralsols humiques. Forêt sur le haut des pentes ; taro à sec et yangona sur défriche *Moderate and steep slopes. Humic ferralsols. Forest on the summit, taro and yagona after clearing, on the slopes*	–	+++	–	++	+++
moyenne *medium*	peu sensible *low susceptibility*		Bas de pente des cônes volcaniques. Andosols molliques et humiques sur lapillis. Souvent cultivés en taro ou en cocotiers *Lower parts of volcanic cones. Mollic and humic andosols on lapillis. Often cultivated, taro or coconut trees*	++	+++	–	+++	+++
			Plaines côtières. Rendzines sous cocotiers *Coastal plains. Rendzines under coconut trees*	–	+	++	+++ (1)	–
médiocre *very poor*	peu sensible *low susceptibility*		Plateaux recouverts de forêt. Ferralsols humiques. Phase pierreuse *Plateaus under forest. Humic ferralsols. Stony phase*	–	–	–	–	–
			Zones planes. Andosols humiques. Phase pierreuse. Cocotiers très nombreux *Flat areas. Humic andosols. Stony phase. Presently numerous coconut trees*	–	–	–	++ (1)	++
	sensible *moderate susceptibility*		Pentes modérées des collines. Andosols humiques. Phase pierreuse *Moderate slopes of hills. Humic andosols. Stony phase*	–	+	–	–	++
mauvaise *uncultivable*	peu sensible *low susceptibility*		Terres de mangrove. Fluvisols thioniques sous végétation forestière *Mangroves. Thionic fluvisols under forestry vegetation*	–	–	–	–	–
	très sensible *very severe*		Zones très accidentées (cônes volcaniques). Andosols molliques et humiques. Forêt. Collines isolées et pentes modérées et fortes de la chaîne centrale. Ferralsols humiques. Phase pierreuse *Broken landforms (volcanic cones). Mollic and humic andosols. Forest. Isolated hills, and steep slopes in the central range. Humic ferralsols, stony phase*	–	–	–	–	–

+++ : Très bonne aptitude - *Very good suitability* ++ : Bonne aptitude - *Good suitability* + : Faible aptitude - *Low suitability* – : À éliminer - *No suitability*

(1) (cocotiers - *coconut trees*)

- Cocotiers *Coconut-grove*
- Cultures vivrières sous cocotiers *Gardens under coconut trees*
- Cultures vivrières sèches *Dry crop gardens*
- Pâturages, forêts en taillis, fougères *Pasture, light bush, fern thicket*
- Forêt dense *Dense forest*
- Terres utilisées à des fins non agricoles *Lands used for non-agricultural purposes*



© O.R.S.T.O.M. 1981

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER
Publication et Diffusion
70-74, route d'Aulnay - 93140 BONDY - FRANCE

SERVICE CARTOGRAPHIQUE DE L'O.R.S.T.O.M. 1981

impression IMPACT GRAPHIC - ⌀ 261-56-11