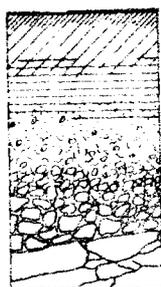


**CARTE PEDOLOGIQUE**  
**DE**  
**TULEAR**  
**AMBOHIMAHAVELONA**

à 1/100 000



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE DE TANANARIVE — MADAGASCAR — B.P. 434

M. SOURDAT  
MAITRE DE RECHERCHE  
O.R.S.T.O.M.



1973

CENTRE O.R.S.T.O.M.

DE TANANARIVE

CARTE PEDOLOGIQUE DE

TULEAR - AMBOHIMAHAVELONA

à 1/100 000

NOTICE

Michel SOURDAT

Maître de Recherche de l'O.R.S.T.O.M.

1973

## S O M M A I R E

<u>INTRODUCTION</u>	p.	1
<u>1ère PARTIE : GENERALITES</u>		2
<u>I. GEOGRAPHIE</u>		2
Situation et originalité de la région de TULEAR		2
<u>II. CLIMATOLOGIE</u>		3
Situation générale		
Microclimats		
Météorologie de TULEAR		4
Définition du climat de TULEAR		5
Climat, érosion et environnement		6
Climat et pédogénèse		7
<u>III. GEOLOGIE</u>		9
Les formations marines tertiaires		
Les sables continentaux pliocènes		10
Les formations aepyorniennes		11
Les formations actuelles		
<u>III. bis GEOMORPHOLOGIE</u>		
Le complexe karstique		
Le complexe détritique continental		14
Le complexe aepyornien littoral : sables roux et grès dunaires		15
Le complexe fluvial		16
Le complexe d'estuaire		18
Le complexe littoral		19
<u>IV. SEDIMENTOLOGIE</u>		21
Granulométrie		
Minéraux lourds		22
<u>V. VEGETATION</u>		24
Végétation du plateau calcaire		
Végétation du glaciais d'accumulation marneux et calcaire		25
Végétation des sables et grès dunaires		
Végétation du complexe fluvial		26
Végétation des sols salins de l'estuaire		27
Végétation du littoral		28
Végétation des zones cultivées		
Evolution naturelle de la végétation		29

I. SOLS MINERAUX BRUTS

SOLS D'ORIGINE NON CLIMATIQUE

Sols d'érosion

Sols d'apport

32

II. SOLS PEU EVOLUES

34

SOLS D'ORIGINE NON CLIMATIQUE

Sols d'érosion

Sols d'apport

35

III. SOLS CALCOMAGNESIMORPHES

39

SOLS RENDZINIFORMES

Rendzines à horizons

IV. VERTISOLS

VERTISOLS TOPO-LITHOMORPHES

Vertisols non grumosoliques

V. SOLS ISOHUMIQUES

40

SOLS A COMPLEXE SATURE

Sols bruns sub-arides

VIII. SOLS A SESQUIOXYDES

42

SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX

Sols peu ou pas lessivés rouges

SOLS PERSIALLITIQUES

Sols indifférenciés

43

X. SOLS HALOMORPHES

50

SOLS A STRUCTURE NON DEGRADEE

Sols salins

Sols salés à alcalis

51

XI. SOLS HYDROMORPHES

52

SOLS MOYENNEMENT ORGANIQUES

Sols humiques à gley

SOLS MINERAUX

Sols à gley

<u>REMARQUES SUR LA CLASSIFICATION DES SOLS</u>	p. 53
La classification des sables roux dunaires et la notion de paléosol	
Intérêt théorique de cette classification	54
Intérêt pratique	
La notion de sol fersiallitique et son application locale	55
<u>REMARQUES SUR LA MATIERE ORGANIQUE DES SOLS</u>	56
<u>CONCLUSIONS</u>	57
<u>LES PERSPECTIVES DE MISE EN CULTURE</u>	
Sols à fortes potentialités agricoles	
Sols à faibles potentialités agricoles	
<u>LES PERSPECTIVES DE CONSERVATION DE LA NATURE ET DES SOLS</u>	59
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	62

## INTRODUCTION

Au cours des 20 premières années de son existence, la Section de Pédologie du Centre ORSTOM de TANANARIVE (ex-Institut de Recherches Scientifiques de Madagascar) s'était donné pour tâche d'établir une carte pédologique régulière de l'Ile à l'échelle de 1/200 000. Sur 65 feuilles prévues, 11 seulement se trouvaient réalisées en 1965 en raison du trop petit nombre de pédologues affectés au projet et de la variété des travaux qui les ont sollicités par ailleurs. Les connaissances pédologiques générales et régionales s'étant diversifiées et approfondies entre temps, on a pu penser que l'échelle de 1/200 000 ne donnait pas de l'inventaire des sols la meilleure représentation possible ; de plus le découpage initialement prévu était arbitraire et se prêtait malaisément à la transposition d'un fond topographique : l'exécution du projet a été interrompue.

La feuille de TULEAR-AMBOHIMAHAVELONA (C58-D58) est le premier essai d'une carte régulière à 1/100 000 utilisant le découpage et les fonds topographiques de l'INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL. D'autres ont suivi, couvrant notamment les régions d'ANTSEVA (C56) et VINETA (D57-D58)\*. L'ensemble intéresse une région naturelle de grande importance tant scientifique qu'économique, insuffisamment inventoriée auparavant : le Sud-Ouest.

Si l'inventaire des sols semble à peu près exhaustif - dans les limites de la feuille et compte tenu de l'échelle - leur détermination ne saurait être considérée comme définitive. Elle se réfère à la classification ORSTOM (G. AUBERT, 1965) et à l'état de nos connaissances en 1970. Nos recherches ultérieures montrent qu'il est particulièrement malaisé de caractériser les "sols rouges" du sud-ouest de Madagascar et de les situer dans les classifications usuelles. Certaines options pourront donc paraître arbitraires et certaines nomenclatures déjà désuètes ; il était opportun cependant d'anticiper sur l'aboutissement des recherches afin de diffuser les résultats de la cartographie. Nous n'avons que trop tardé et nous en excusons.

La carte pédologique de TULEAR-AMBOHIMAHAVELONA a été réalisée sur crédits ORSTOM, de 1966 à 1970.

---

\* cf. SOURDAT, 1972, 1973.

## 1ère PARTIE : GENERALITES

### I. GEOGRAPHIE

#### Situation et originalité de la région de TULEAR

La carte pédologique couvre 2 feuilles à 1/100 000 régulières de l'INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL. Elle tire son double nom de TULEAR, capitale administrative et économique du sud-ouest de l'Ile, située au centre du delta du FIHERENANA et d'AMBOHIMAHAVELONA, petit village situé dans le canyon de l'ONILAHY. La notoriété de TULEAR prime et nous désignerons le plus souvent sous son nom, tant la région cartographiée que l'étude que nous lui consacrons.

Cette région présente de fortes originalités géologiques, géomorphologiques, climatiques, botaniques et pédologiques : elle offre aux voyageurs et aux naturalistes venus des régions centrales de l'Ile par la R.N.7 les plus saisissants contrastes.

A cheval sur deux formations sédimentaires caractéristiques du Sud-Ouest, elle est soumise à un climat aride mais garde l'empreinte d'une évolution morphoclimatique complexe dont certaines manifestations sont ici exemplaires.

Elle tire son unité et ses principaux caractères de la présence du FIHERENANA. C'est en effet le seul fleuve malgache dont le cours soit entièrement compris dans un bassin sédimentaire. Né dans les grès de l'ISALO à 170 km au NE de TULEAR il franchit les plateaux calcaires puis atteint le Canal de MOZAMBIQUE par l'intermédiaire d'un delta fertile. Il est donc à la fois moyen de communication et source de richesses ; les formations pédologiques d'intérêt scientifique ou économique primordial lui sont plus ou moins directement liées et constituent ce qu'on appelle communément la "plaine" de TULEAR.

Le fleuve ONILAHY, de longueur et de débit beaucoup plus considérables ne présente pas de delta ; il occupe dans le paysage et dans la vie économique une place moins importante. Ce n'est donc pas sans raison qu'avant de devenir la capitale du Sud-Ouest, TULEAR - ou plus exactement le village de MIARY - fut

la capitale d'un royaume masikoro dit "royaume du FIHEREMANA".

## II. CLIMATOLOGIE

### Situation générale\*

Le tropique du Capricorne traverse la carte à la hauteur d'AMBOHIMAHAVELONA; le climat régional s'explique cependant moins par cette situation en latitude que par l'orientation face au Canal de MOZAMBIQUE.

Du point de vue thermique, cette mer chaude à caractère continental ne peut régulariser les températures le long de ses rivages comme le fait l'Océan INDIEN et les conditions continentales l'emportent sur les conditions océaniques. Des points de vue pluviométrique et hygrométrique, les masses d'air venues de l'Océan INDIEN poussées par l'alizé ne parviennent à TULEAR qu'après s'être déchargées de leur humidité sur la falaise orientale et sur les pentes occidentales. Les précipitations frontales sont rares ; ce sont les pluies cycloniques de saison chaude qui fournissent la plus grande part de la pluviométrie annuelle.

### Microclimats

La Station Météorologique de TULEAR étant la seule où aient été enregistrés sur une période de 30 ans des relevés complets et fiables le climat régional sera décrit et apprécié en fonction de ces données. Il est néanmoins évident que, de par sa situation littorale, la station de TULEAR représente un microclimat. Deux autres seraient à considérer mais nous ne pouvons en juger que par des relevés pluviométriques partiels.

L'exagération du climat littoral est représentée par la pluviométrie de SOALARY, à l'embouchure de l'ONILAHY, pôle de l'aridité à Madagascar.

---

\* d'après G. DONQUE, in ATLAS de MADAGASCAR (1969)

Les relevés pluviométriques de VINETA (hors-carte, altitude 440 m, à 70 km au NE de TULEAR) indiquent qu'en raison du décrochement altitudinal, les précipitations augmentent sur le plateau ; les températures diminuent et il semble que l'hydrométrie diminue également.

Le microclimat des vallées est représenté par AMBOHIMAHAVELOMA, plus arrosé, plus chaud et plus humide probablement que TULEAR.

PRECIPITATIONS en mm

	TULEAR	VINETA	AMBOHIM.	SOALARY
J	70,5	162,2	139,8	73,8
F	71,3	85,6	111,0	39,9
M	42,3	110,5	31,1	33,7
A	6,5	26,6	7,4	7,0
M	17,9	12,4	14,8	14,9
J	10,7	15,0	9,7	8,2
J	4,0	9,8	4,4	4,1
A	3,1	6,3	11,7	2,0
S	9,5	25,8	2,6	7,0
O	13,5	19,3	21,7	5,8
N	34,4	102,0	26,2	15,5
D	57,1	106,4	214,7	62,4
ANNEE	341,5	685,9	595,1	274,3

Météorologie de TULEAR\*

Les données suivantes ont été réunies dans le tableau annexé ci-après.

Tx = température maximum moyenne mensuelle (et annuelle) en degrés et dixièmes.

Tn = température minimum moyenne mensuelle (et annuelle) idem.

\* d'après la Météorologie Nationale (1956, 1964), PEGUY (1961), SOURDAT (1969).

$T = \frac{T_x + T_n}{2}$  = température moyenne mensuelle (et annuelle) idem.

$A = T_x - T_n$  = amplitude diurne moyenne mensuelle (et annuelle) idem.

$P$  = pluviométrie moyenne mensuelle (et annuelle) en mm.

$J$  = nombre de jours de pluie tels que  $P > 0,1$  mm.

$H_7, H_{12}, H_{17}$  = humidité atmosphérique respectivement à 7h, 12h, 17h :  
moyenne mensuelle (et annuelle) en pourcent.

$H = \frac{H_7 + H_{12} + H_{17}}{3}$  = humidité moyenne journalière en pourcent.

$I$  = insolation moyenne mensuelle (et annuelle) en heures.

Par des signes ou par des nombres nous indiquons en outre l'existence et le nombre des mois présentant les caractères suivants :

Mois édaphiquement secs : déterminés graphiquement par la méthode du "bilan de l'eau" selon THORNTHWAITE. Il s'agit des mois pour lesquels la hauteur des précipitations est inférieure à celle de l'évapotranspiration potentielle, la réserve d'eau du sol étant épuisée.

Mois arides : pour lesquels l'indice d'aridité de DE MARTONNE est inférieur à 10.

Mois humides : pour lesquels les précipitations atteignent un seuil fixé par BIROT, fonction complexe de  $T$ .

Mois secs : selon CAUSSEN, tels que  $P$  soit inférieur au double de  $T$ .

Le régime des vents est caractérisé à TULEAR par une alternance journalière :

le matin vent de terre de secteur ESE, 8-15 km/h

l'après-midi, vent de mer de secteur SSW, 15-25 km/h.

En fin de saison sèche cependant les vents de secteur SSW se renforcent jusqu'à atteindre quotidiennement la vitesse de 20-25 km/h.

#### Définition du climat de TULEAR

TULEAR se situe dans le domaine thermique intertropical pour lequel selon TROLL l'amplitude moyenne diurne est supérieure à l'amplitude annuelle.

à TULEAR  $A = 11,7^\circ\text{C}$

$A_a = 7,4^\circ\text{C}$

Les plus fortes amplitudes diurnes se présentent en juillet ( $13,3^\circ$ ) et les plus faibles en décembre ( $9,9^\circ$ ).

Le régime pluviométrique est du type tropical court : à TULEAR, 6 mois reçoivent moins de 15 mm de pluie.

Le caractère aride du climat peut être quantifié de diverses façons.

- L'aridité s'exprime selon DE MARTONNE par un indice de la forme :

$$A = \frac{P}{T + I_0}$$

L'indice global d'aridité A est la moyenne des indices A1 et A2 calculés respectivement au moyen des données de l'année et du mois le plus sec. La valeur I0 représente le seuil d'aridité.

à TULEAR : A1 = 10,3    A2 = 0,1    A = 5,2

Sept mois présentent un indice inférieur à I0. D'après ce chiffre, DUVERGE (1949) situe la région de TULEAR à la limite des climats "Sénégalien" et "Désertique océanique".

- Dans la classification adaptée de KOPPEN proposée par VIERS (1968) en fonction des critères :

Pcm inf. à (t+ I4),    t sup. à I8°,    saison sèche d'hiver, le climat de TULEAR serait "Saharien" (BWh).

- L'indice xéothermique de GAUSSEN situe TULEAR dans les climats "xéothermoméditerranéen" : X = 185.
- Sur le climogramme pluviothermique d'EMBERGER établi par MORAT (1969), TULEAR figuré avec le quotient le plus faible (Q = 2) parmi les stations semi-arides à hiver chaud-tempéré. (La température moyenne minimum du mois le plus froid est voisine de I4).
- Le diagramme de "bilan de l'eau" établi par RIQUIER (1959) selon la méthode de THORNTHWAITE (avec emploi de la formule de PRESCOTT pour le calcul de ETP) fait apparaître un déficit en eau et une sécheresse édaphique permanente durant 12 mois.  
En fonction de ETP et d'un indice Im (à TULEAR : Im inférieur à 40), le climat est qualifié "aride mégathermique".

#### Climat, érosion et environnement

Diverses formules se proposent d'évaluer le caractère érosif d'un climat à partir des données météorologiques mais elles nous semblent sujettes à caution faute d'intégrer des facteurs malaisément quantifiables tels que le relief, le coefficient d'infiltration du sol, la couverture végétale et l'intervention de l'homme. En les appliquant à TULEAR on risquerait de sous-estimer les dangers

réels encourus par l'environnement et dont l'érosion n'est qu'un aspect\* .  
 Aucune formule en effet ne pourrait rendre compte du déséquilibre écologique qui résulte de la dégradation récente de la forêt et du bush, d'autant plus que les dommages tiennent peut-être moins au nombre d'hectares qui ont été défrichés qu'au rythme auquel ces défrichements ont été conduits.  
 Bien qu'aucune relation de cause à effet ne puisse être scientifiquement établie entre les défrichements, l'érosion et l'hydrologie, il serait imprudent de ne pas prendre en considération les avertissements de MARTIN (1950) et BESAIRIE (1953) concernant l'assèchement périodique du FIHERENANA, le tarissement des résurgences karstiques, l'augmentation des débits solides et des débits de crues. Nous en concluons que l'agressivité climatique a connu au cours des dernières décades un accroissement significatif.

#### Climats et pédogénèse

Dans les conditions d'aridité que résume éloquemment le diagramme de "bilan de l'eau", il n'existe théoriquement pas à TULEAR de saison humide, du point de vue pédoclimatique : il en résulte que l'altération des roches ne peut être que très limitée. Si l'on admet que l'érosion se manifeste avec violence, en décapant les sols et en exportant les produits de l'altération on en conclura que le bilan pédogénétique a toutes probabilités d'être négatif.

L'affleurement de matériaux bruts ne donne effectivement lieu qu'à une pédogénèse peu approfondie et peu poussée en ce qui concerne l'altération des roches et la libération des éléments ; la seule pédogénèse qui s'exprime avec intensité concerne la mobilisation des sels solubles en milieux alcalin ou calcaire et le développement de certains types d'humus liés ou non à la répartition du calcaire.

\* L'indice de concentration saisonnière de PEGUY est le rapport des précipitations de 3 mois consécutifs les plus arrosés au tiers des précipitations du reste de l'année.

$$\text{à TULEAR : } I_3 = 4,2$$

Ce chiffre est élevé à l'échelle universelle mais relativement moyen à Madagascar.

L'indice de capacité érosive de FOURNIER (1962) est fonction des précipitations du mois le plus arrosé ( $C = p^2/P$ ).

$$\text{à TULEAR : } C = 14,9$$

Les pertes en terre correspondantes sont évaluées à 200-600 T/Km<sup>2</sup>/an et le "danger d'érosion" est qualifié "faible".

Le climat actuel impliquerait donc la formation et l'extension des sols non évolués, peu évolués, calcimorphes, isohumiques, salins et hydromorphes ; il contribuerait, conformément à sa définition, à la formation d'un paysage de type semi-aride ou aride.

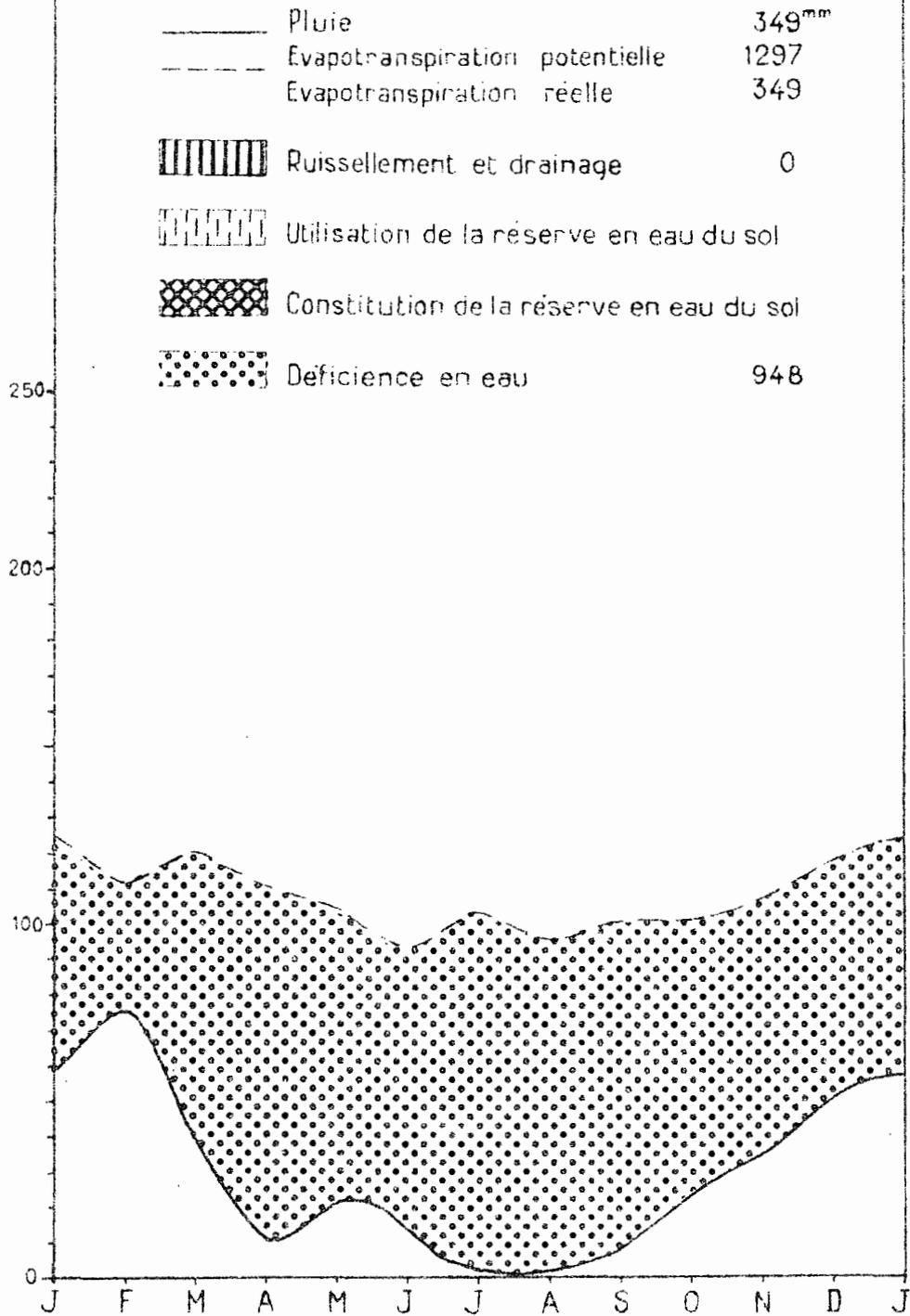
Il existe néanmoins dans cette région des sols à sesquioxydes ; d'un point de vue plus général il semble que le développement des formations végétales et l'activité biologique soient, tous comme les processus d'altération des sols, plus intense que ne le laisserait présager l'analyse des données météorologiques et ses implications théoriques.

L'existence de climats antérieurs plus humides (BATTISTINI, 1969) explique cette contradiction ; la région de TULEAR a hérité des formations qui en étaient résultées et les processus amorcés à la faveur de climats plus humides se poursuivent en dépit de l'aridification.

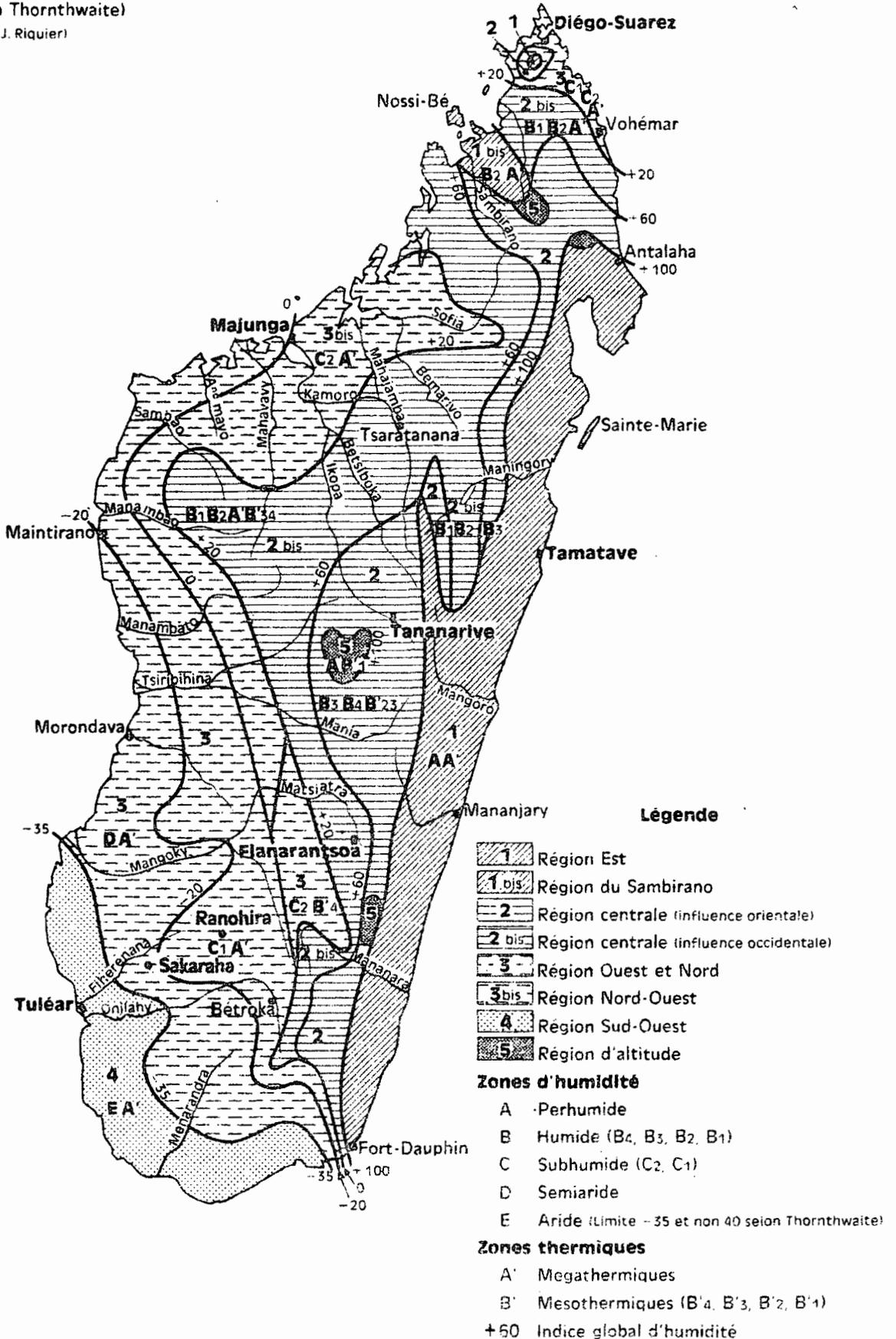


## TULEAR

Pluie et évapotranspiration en mm



**Régions climatiques**  
(Classification Thornthwaite)  
(d'après J. Riquier)



### III. GEOLOGIE\*

La carte s'étend sur deux régions naturelles bien distinctes : le plateau calcaire et la plaine côtière à laquelle se rattachent les vallées alluviales. Les étages marins les plus récents du bassin sédimentaire de MORONDAVA\*\* constituent le plateau tandis que les formations détritiques pliocènes et aepyorniennes d'origines diverses sont associées dans la plaine aux sédiments récents ou actuels.

#### 1. Les formations marines tertiaires\*\*\*

Les calcaires marins tertiaires sont disposés en couches monoclimales à faibles pendages vers l'ouest.

L'Eocène inférieur témoigne de la plus grande extension de la mer tertiaire et déborde les limites de la carte vers l'est. Il présente une succession transgressive de faciès jusqu'au faciès pélagique.

Les calcaires à alvéolines sont les plus représentés à l'affleurement ; ils sont de couleur claire, fins, durs, purs et se prêtent très bien à la morphogénèse karstique.

L'Eocène moyen - Lutécien - est limité face à l'est par une cuesta discontinue. Il présente des faciès récifaux et sublittoraux qui témoignent d'oscillations du niveau marin réparties en deux épisodes principaux.

Les calcaires lutéciens sont moins purs, moins durs et moins massifs que ceux de l'Eocène inférieur ; ils se prêtent médiocrement aux processus de karstification et sont le plus souvent modelés en topographie normale.

L'Eocène supérieur n'a pas de limites nettes. Il ne débute pas par des couches détritiques ; son faciès nettement littoral consiste en roches marneuses, tendres, modelées en topographie "normale".

\* cf. Extrait de la carte géologique à 1/500 000 ci-après.

\*\* Les séries marines du bassin de MORONDAVA affleurantes de l'est de SAKARAHÀ (feuille IGM F57) à la côte débutent au jurassique supérieur et incluent des épanchements basaltiques. Elles s'appuient sur les formations Karoo parmi lesquelles celle<sup>s</sup> de l'Isalo affleurant de RANOHIRA (IGM 156) à SAKARAHÀ sont particulièrement importantes ; ces grès continentaux ont constitué la principale source des sédimentations détritiques pliocènes (BESAIRIE, 1953).

\*\*\* cf. PACHOUD (1954).

Le Miocène marin n'affleure qu'autour de la cote 207 du massif de la TABLE. Il est constitué d'une brèche, de calcaires marneux à huîtres et gypse, de calcaires blancs et durs. Le sommet de l'affleurement est couvert d'une croûte calcaire tandis que les flancs présentent un modelé très mou ; les marnes ont colluvionné sur l'Eocène voisin et en contrebas dans la plaine (SAINT OURS, 1955).

Le plateau se termine à l'ouest par un escarpement : faille (CLIQUET, 1957) ou falaise ? Le rejet serait en surface de 150 m et l'activité de la faille aurait été maximum entre le Crétacé et le Lutécien mais avec rejeu récent comme en témoignent les brèches de bas de pente. Un sondage implanté à MIARY a atteint le Lutécien à 100 m ; il se pourrait qu'il fut surmonté localement par les restes du Miocène marin (BESAIRIE, 1948).

## 2. Les sables continentaux pliocènes

La fin du Néogène a vu le soulèvement du continent et l'érosion intense des formations antérieures, ISALO notamment. De puissantes nappes détritiques venues de l'arrière pays ont franchi le plateau calcaire en empruntant quelques axes privilégiés et sont parvenues à la côte.

La série de base (série d'ANDRANOABO) n'est pas représentée ici ; seules existent les formations sableuses meubles et homogènes connues sous les noms de "carapace sableuse" ou encore "sables roux" (BESAIRIE, 1953). Il en existe des témoins remarquables à BEFOLY ; ce sont des buttes de sables grossiers rubéfiés, identiques à ceux qui couvrent les "dômes sableux" de l'ISALO (SOURDAT, 1970).

BESAIRIE (1948) admet que des couches de matériaux pliocènes puissent se trouver dans la plaine de TULFAR, intercalées entre les sédiments marins tertiaires et les dunes aepyorniennes.

HERVIEU (1965) admet que la nappe de "sables roux" qui s'étend au nord du FIHERENANA entre le plateau et la mer témoignent du "biseau sédimentaire" qui devait se prolonger au-delà du rivage actuel.

En plus de ces formations, conservées en masses importantes sur les lieux mêmes de leur dépôt, les sables pliocènes sont présents partout sous forme de matériaux remaniés et de contaminations.

Sur le plateau ils sont associés aux résidus de décarbonatation, piégés dans les lapiaz ou épandus en placages autour des buttes de BEFOLY.

Dans la plaine, la frange littorale du dépôt pliocène, mêlée de sables coralliens a été plusieurs fois rejetée vers l'intérieur sous forme de dunes. Au nord du FIHERENANA le remaniement éolien ne fait que rider superficiellement

le dépôt tandis qu'au sud la reprise marine ou éolienne semble à peu près totale : l'étiquette "aepyornienne" remplace l'étiquette "pliocène".

### 3. Les formations aepyorniennes

A la suite de ses travaux dans l'Extrême-Sud, BATTISTINI (1964) a désigné sous ce nom tous les dépôts mis en place postérieurement aux épandages continentaux néogènes et contenant, en même temps qu'une faune riche en mollusques terrestres, des débris d'un grand ratite fossile, l'Aepyornis. Il n'est pas possible dit-il d'établir si l'Aepyornien malgache coïncide exactement avec le quaternaire européen ou africain ou s'il en est une période courte ou longue.

Selon le même auteur, deux ordres de phénomènes ont rythmé la période aepyornienne : les allées et venues de la mer et les variations du climat.

Trois pulsations marines successives ont été reconnues et leur maxima nommés respectivement : Tatsimien, Karimbolien, Flandrien. Aux transgressions correspondraient des climats secs et aux régressions des climats plus humides.

A chaque pulsation marine se rattache sur le continent une transgression dunaire de même nom. Dans l'Extrême-Sud, l'ampleur des dépôts, leur degré de grésification interne et de rubéfaction superficielle vont décroissant du Tatsimien au Flandrien.

Aux épisodes humides, Ambovombien et Lavanonien sont rapportés la rubéfaction des dunes, la formation de dépôts de bas de pente et de terrasses fluviatiles.

Les conclusions de BATTISTINI ont pu être appliquées à TULEAR. Toutefois il semble qu'on trouve ici 4 transgressions dunaires successives au lieu de 3 et que l'on puisse se ranger à l'avis de BOURGEAT (1970) qui décale la chronologie et fait coïncider les périodes pluviales avec les transgressions (cf. Chapitre suivant : Géomorphologie).

### 4. Les formations actuelles

Les processus de transport de remaniement d'érosion et de pédogénèse actuels prolongent l'action de ceux qui ont joué au Flandrien ; les formations actuelles se superposent ou s'ajoutent aux formations flandriennes dont elles ne diffèrent généralement que par une moindre ampleur. Cependant l'intensification des phénomènes d'érosion due à l'intervention récente du facteur humain, pourrait dans un proche avenir modifier ce rapport. Dans la vallée du FIHEREMANA par exemple, une sédimentation de mode torrentiel représentée par des sables grossiers semble devoir se généraliser aux dépens de la sédimentation de mode calme représentée par des limons de bourrelets et des arilles de décantation. Sur le littoral

l'éolisation pourrait reprendre de l'activité soit en rajeunissant les anciennes formations abusivement déboisées, soit en remaniant les sables fluviaux du lit.



### III. GEOMORPHOLOGIE\*

#### 1. Le complexe karstique\*\*

Du nord au sud de Madagascar, les calcaires tertiaires sont affectés de modelés karstiques remarquables, caractérisés par l'absence de réseau hydrographique superficiel, la présence d'avens, de dolines, de lapiaz, etc... avec ou sans couverture meuble.

Ce n'est pas le cas dans la partie du plateau qui occupe le centre de cette carte car elle est étroitement reserrée entre le FIHERENANA et l'ONILAHY de sorte que leurs affluents la pénètrent profondément. Sa topographie se rapproche du type "normal"\*\*\*, particulièrement dans la zone d'affleurement des calcaires impurs et tendres de l'Eocène inférieur et du Miocène\*\*\*\*.

Le modelé de détail ne conserve quelques caractères karstiques que dans la zone d'affleurement des calcaires fins et durs de l'Eocène inférieur ; une petite surface de karst se trouve conservée, exactement à l'interfluve au lieu-dit ANDOLOMATPEKA.

11. Le karst couvert : A ANDOLOMATPEKA est conservé un petit élément de plateau limité par deux escarpements de faille et une petite étendue de sol rouge non colluvial, couvrant des horizons de calcaires plus ou moins altérés. Aux alentours, le calcaire vient en affleurement sous forme de bancs ou de crottes ciselées ; les bancs de calcaires massifs ne semblent pas assez puissants pour donner lieu à des lapiaz profonds (de taille métrique), encore moins à des "tsingy" monumentaux tels que ceux du nord et de l'ouest de l'Ile.

12. Le karst découvert : L'érosion des sols conduit à l'affleurement des horizons ou bancs calcaires, antérieurement modelés ou altérés sous couverture meuble. Les calcaires impurs s'encroûtent, puis sont superficiellement ciselés (lapiez sur coutes) ; les calcaires purs sont lapiézés sans interposition de crote. La surface du sol est occupée par des chaos rocheux ou par des champs de crottes déchaussées.

\* Ce chapitre développe la légende géomorphologique annexée à la légende pédologique de la carte.

\*\* cf. SOURDAT, BATTISTINI et KARCHE (1970).

\*\*\* Faute d'un meilleur terme nous opposons la topographie "normale" à la topographie karstique.

\*\*\*\* Il existe néanmoins 2 avens à TOLIKISY, au centre de la carte (DUFLOS, 1966).

13. Les affleurements de grès calcaires tendres : ils sont localisés autour de la butte sableuse de BEFOLY et à la limite sur de la feuille D58. L'élimination sans doute récente des sables dégage de petits reliefs arrondis dont la surface évolue sans s'encrouter.

14. Les falaises, cuestas et thalwegs : l'érosion "normale" a recoupé les strates calcaires en marches d'escalier lapiézées, encroutées ou altérées selon la nature des bancs. Le bas de pente est occupée par une brèche (cf. 23.).

15. Les affleurements marneux : ils donnent lieu à un modelé "normal" ; la topographie est formée de versants irréguliers, ravinés, partiellement encroutés.

## 2. Le complexe détritique continental

21. Les épandages pliocènes : Les buttes sableuses de BEFOLY sont planes au centre et limitées par des talus souvent bien nets. Le contact avec le substrat (grès tendre argileux) s'effectue soit par l'intermédiaire d'une couche d'argile montmorillonitique jaune (au centre des buttes) soit par l'intermédiaire d'une dalle de grès ferrugineux dont les morceaux disjoints s'effondrent sur le pourtour des buttes.

Dans les limites de la carte, le biseau sédimentaire littoral est presque entièrement remanié sous forme de dunes.

22. Les glacis d'accumulation marneux et calcaires : Ils occupent la partie sud de la plaine ; leur pente est de 7/1000 environ vers l'ouest. Au nord de la RN 7 le matériau est calcaire ; au sud il est marneux sous l'influence directe des formations marneuses à huitres du massif de la TABLE. Une coupe, visible au GROS KILY au SE d'ANKILIBE montre des niveaux conglomératiques à huitres entaillés par la mer.

Ces dépôts hétérométriques présentent le faciès lavanonien défini dans l'Extrême-Sud par BATTISTINI.

23. Les dépôts de bas de pente : En contrebas des escarpements calcaires et du relief gréseux d'ANKASY se trouvent d'importantes brèches à ciments rouges ou rosés. On en remarque au SE de la RN 7, dans le couloir de faille qu'emprunte cette route aux environs du PK 50 ; au pied de la falaise à l'est de TULEAR, le long de la piste AHITSABO-MARCHIRA-AMPEHA ; à SARODRANO-BINA. Ces brèches (ou conglomérats) rappellent par leur couleur la croûte villafranchienne d'Afrique du Nord mais ne contiennent pas d'Hélicidés. Elles se rattacheraient à l'Ambovombien (BATTISTINI, 1969).

### 3 et 4. Le complexe aepyornien littoral : sables roux et grès dunaires

Dans l'Extrême-Sud et l'Extrême-Nord de l'île, HERVIEU (1958, 1959) et BATTISTINI (1959, 1964, 1966) ont identifié 3 systèmes dunaires, distincts par leur plus ou moins grande ampleur, l'état de fraîcheur ou d'usure du modelé et la couleur.

- dune tatsimienne ou "grande dune" ou "sables rouges" (Q1)
- dune karimbolienne ou "petite dune" ou "sables jaunes" (Q2)
- dune flamandienne ou "dune blanche" (Q3).

Dans la région de TULEAR nous avons distingué 4 systèmes et divisé le Q2 en deux épisodes notés respectivement Q21 et Q22 (SOURDAT et GENÈSE, 1969).

Ces 4 systèmes se succèdent d'est en ouest à l'affleurement et se fossilisent les uns les autres en profondeur.

Par ailleurs BOSSIER et HERVIEU (1958) avaient montré que les systèmes dunaires développés au sud du FIHERENANA présentent des caractères granulométriques et morphoscopiques nettement éoliens tandis qu'au nord du fleuve ces caractères sont "mixtes" (éoliens et fluviaux). Chaque système comporte donc deux variantes granulométriques numérotées respectivement 3 et 4.

Enfin, chaque système présente deux faciès correspondants à des horizons pédologiques.

Le faciès superficiel est formé d'horizons meubles, plus ou moins décarbonatés et rubéfiés.

Le faciès profond est formé d'horizons plus ou moins riches en calcaire, jamais rubéfiés, souvent grésifiés.

Les faciès profonds du Tatsimien et du Karimbolien contiennent la faune à Clavator et Trepidophora décrite par GERMAIN (1921). Les débris d'oeufs d'Aepyornis sont plus fréquents dans le faciès superficiel.

Une coupe idéale montrerait la superposition suivante :

- Q3 Beige, meuble  
Beige grésifié  
.....
- Q22 Roux clair meuble  
Beige grésifié  
.....
- Q21 Roux foncé meuble  
Beige grésifié  
.....
- Q1 Roux-rouge meuble  
Beige grésifié  
.....

Quelques sondages vérifient ce schéma en montrant par exemple les superpositions Q21 / Q1, Q22 / Q21, ou Q3 / Q22.

31 et 41. Sables roux-rouges et grès associés (Q1) : les sables (Munsell 2,5 YR) se trouvent en placages résiduels sur les bords du plateau qu'ils fossilisaient vraisemblablement ici comme dans l'Extrême-Sud (le long de la piste directe MIARY-BEFOLY et de la piste SOALARY-LAVADANORA), et de part et d'autre du relief gréseux d'ANKASY\*. Ce dernier représente lui-même le Q1 grésifié.

Au Nord du FIHERENAMA les sables et grès Q1 n'ont pu être différenciés du Q21.

321 et 421. Sables roux-foncés et grès associés (Q21) : les sables (5,0 YR) sont étalés à plat ; le relief dunaire ne se manifeste plus que par les ondulations des grès sous-jacents et leurs pointements.

322 et 422. Sables roux-clairs et grès associés (Q22) : ces sables (7,5 YR) présentent un modelé dunaire encore vif. Le déferlement de cette formation sur la nappe Q21 et sa disposition en fer de lance sont très nets. Les grès n'affleurent généralement pas.

33 et 43. Sables beiges flandriens (Q3) : ils sont jaune pâle ou beige (10 YR) et constituent une longue frange dunaire, généralement fixée par une végétation caractéristique. Une légère accumulation de calcaire en profondeur donne lieu à une légère grésification lorsque la dune est entaillée par la mer.

34. Sables roux colmatés : Quelques surfaces de sables roux en voie de colmatage du fait de l'irrigation. Les eaux du FIHERENAMA leur apportent un débit solide constitué de sables fins limoneux et calcaires. Dans quelques points bas la décantation est importante et la modification du profil d'autant plus notable qu'une nappe phréatique s'établit à peu de profondeur au-dessus de l'horizon calcaire.

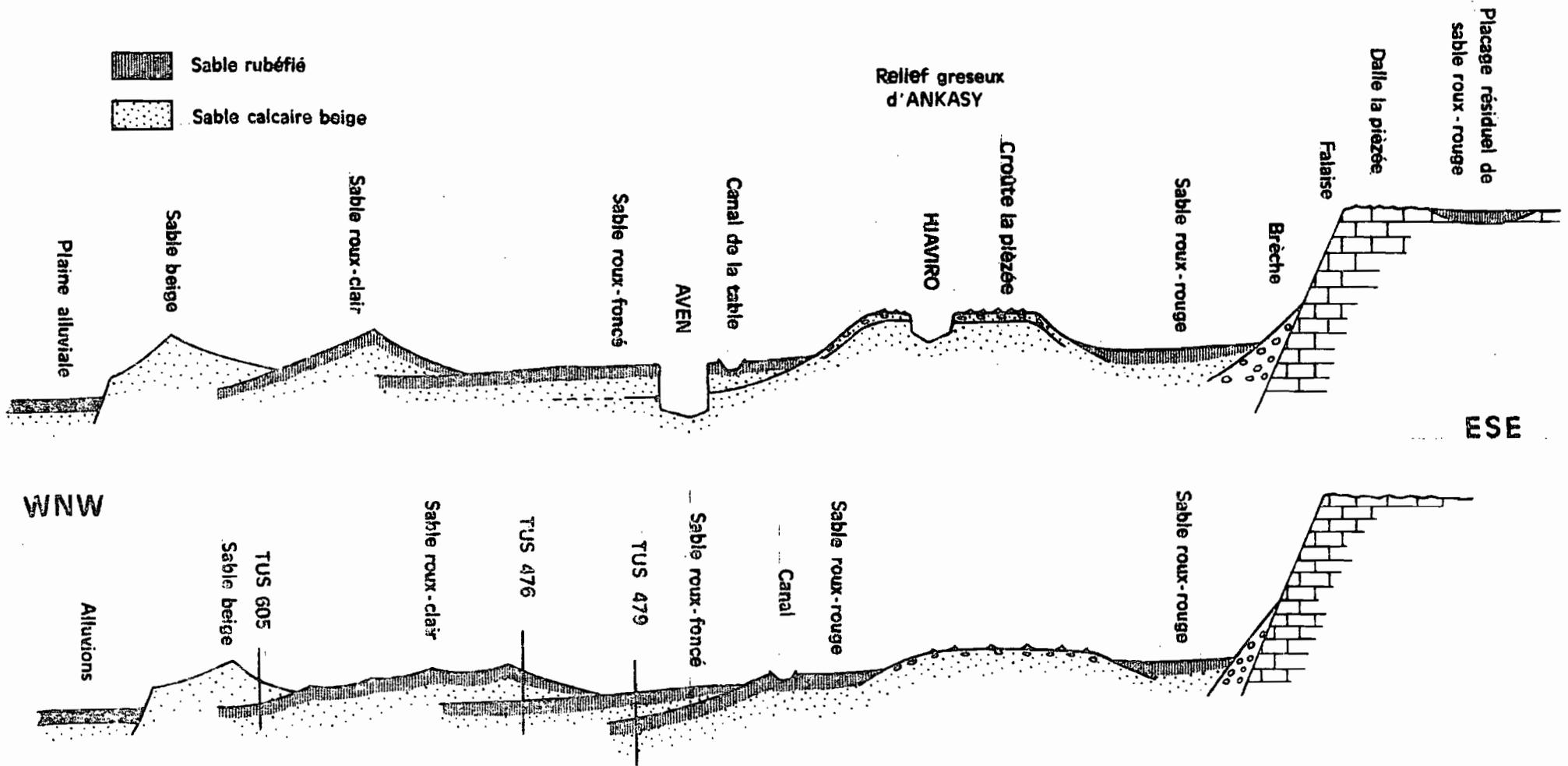
35. Sables roux recarbonatés : A l'est et au sud-est d'ANDRANOMENA s'étend une zone de sable roux sur laquelle débouchent des eaux de ruissellement chargées de calcaire en provenance de la falaise. Les profils sont réapprovisionnés en calcaire à la fois par la surface et par la nappe qui est peu profonde ; ils peuvent également être salés.

##### 5. Le complexe fluvial

Les régimes du FIHERENAMA et de l'OMILAHY s'accordent à celui des pluies : ils comportent un maximum et un étiage annuel. La différence entre les débits

---

\* Relief de sables grésifié et encrouté étendu au SSE du village d'ANKASY parallèlement à la côte. Au sommet se trouve creusé le petit aven dit HIAVIRO.



### COUPE SCHEMATIQUE DE LA PLAINE DE TULEAR

- ① Au niveau d'HIAVIRO - Piste de BETANIA
- ② Au niveau de TUS 479 - Piste de BETSINJAKA

de crue et d'étiage peut être considérable (de 30 à 1100 m<sup>3</sup>/s pour l'ONILAHY) ; les crues et décrues sont rapides.

Les bassins supérieurs de ces fleuves reçoivent de 600 à 1000 mm de pluies annuelles ; ils sont partiellement situés dans les grès de l'ISALO et couverts d'un manteau d'altération sableux qui régularise l'infiltration et l'écoulement : c'est pourquoi les débits d'étiages restent relativement abondants et réguliers lorsque les fleuves pénètrent dans les limites de la carte. Mais si l'ONILAHY reste en eau jusqu'à son embouchure il n'en est plus de même, depuis peu, pour le FIHERENANA. L'assèchement total de son lit qui selon MARTIN (1950) ne s'était pas produit avant 1922 se voit de plus en plus fréquemment et les résurgences karstiques ne suffisent plus à le réalimenter.

51, 52 et 53. Lits, Banquettes temporaires et bras morts : Les lits mineurs se déplacent presque à chaque saison dans un lit majeur formé de banquettes temporaires plus ou moins fixées par une végétation de bararatra (Phragmites mauritanus). Ces banquettes sont caractérisées par une stratification irrégulière de sables grossiers et de limons.

Le delta du FIHERENANA comporte des bras morts sableux dans lesquels la raréfaction du sous-écoulement a permis aux infiltrations salines de progresser vers l'amont. Bien que ces bras soient délaissés parfois depuis plusieurs décades, colonisés par la végétation (groupement à Phragmites, Acacia farnesiana et Pluchea grevei notamment) et parfois protégés par des digues, on ne saurait trop se prémunir contre un retour du fleuve, tel que celui de Noël 1966 à l'occasion duquel le FIHERENANA a contourné MAROMIANDRY et MAROFATIKA par le nord, substituant un lit de sables grossiers aux terrasses alluviales fertiles.

54, 55 et 56. Les terrasses alluviales : Il en existe 3 systèmes analogues à ceux des rivières de l'Extrême-Sud étudiés par BATTISTINI, mais seule la haute terrasse rubéfiée est bien individualisée.

Les moyennes et basses terrasses sont souvent confondues ; elles ne présentent pas de rubéfaction.

Selon un mécanisme classique la granulométrie des dépôts décroît au fur et à mesure que l'on s'écarte du lit.

Les terrasses au fil de l'eau sont constituées de sédiments de texture moyenne. Les terrasses abritées constituées à la faveur d'un épi rocheux, d'un confluent, d'un ancien méandre ou d'un endiguement présentent des sédiments de texture fine. On observe toutefois que l'épaisseur de ces terrasses dépasse rarement la profondeur de 1,50 m à laquelle on retrouve les sables grossiers du lit.

En général les alluvions de l'ONILAHY sont plus grossières que celles du FIHERENANA.

La haute terrasse rubéfiée domine le lit des fleuves de hauteurs variables (10 à 20 m). Elle est formée de sables grossiers ou gravillonnaires, quartzeux, rubéfiés.

On la rencontre à MAROPATIMA, MIARY (tombeau des rois) et AMPIHALIA sur le FIHEREMANA ; à AMBOHIMAHAVELONA, MANDARANO et ANTANIMENA sur l'ONILAHY.

#### 6. Le complexe d'estuaire<sup>\*</sup>

Nous avons cité dans la légende géomorphologique 6 formations :

61. Alluvions salées par infiltration
62. Evaporites
63. Evaporites couvertes par des dépôts éoliens et alluviaux
64. Mangroves décadentes
65. Mangroves d'estuaire
66. Bras morts infiltrés.

Pour faciliter l'exposé nous les décrivons ici en progressant de la mer vers l'intérieur. En effet, le récif corallien qui s'étend devant TULEAR barre l'estuaire et donne lieu à une "séquence de comblement"<sup>\*\*</sup> :

- Bioherme sur substrat inconnu
- Calcarénites et calcaires construits
- Calcarénites hétérométriques et herbiers
- Marnes sableuses (avec mangroves)
- Evaporites et dunes
- Alluvions salées par infiltration.

De cette séquence nous retenons les trois derniers termes, seuls exondés.

La mangrove d'estuaire est une vase sableuse reposant à moins de 1 m sur un sable coquiller. La banquette vaseuse est aérée par les perforations des crabes. La salinité de l'eau interstitielle varie de 12 à 35 ‰ au maximum car la montée biquotidienne de la marée ne permet pas aux sels de se concentrer par évaporation. DERIGEARD (1966) a montré que les mangroves de la région de TULEAR bénéficient toujours de la présence d'une nappe phréatique, douce ou légèrement saumâtre, souvent due aux résurgences karstiques.

En arrière de la mangrove se rencontrent les zones d'évaporites. Marées, crues et déflation y déposent alternativement des vases, des limons et des sables en fines strates (varves). La progression de ces dépôts asphyxie l'arrière des mangroves en recouvrant les pneumatophores et en rehaussant le niveau topographique : lorsque la surface du dépôt n'est plus quotidiennement submergée, les

---

\* Les milieux estuariens et littoraux ont été étudiés en détail par les chercheurs de la STATION MARINE de TULEAR et nous leur devons la plupart de ces observations.

\*\* d'après BLANC CHAMLET et FROGET (1966).

sels s'y concentrent par évaporation et les palétuviers ne le supportent pas. En raison de leur excessive salinité, les zones d'évaporites sont presque absolument azoïques.

En arrière de la zone nue envahie par les grandes marées, les évaporites se couvrent de petites neiges alimentées par la déflation, puis de placages alluviaux. La salinité superficielle s'affaiblit et diverses plantes pionnières s'installent\*.

La "mangrove décadente" correspond à une mangrove d'estuaire fermée en aval aux influences marines et soustraite en amont à l'alluvionnement (par un changement temporaire du cours du fleuve). Il n'y a pas de comblement : la vase reste fluide, sans possibilité de concentration saline et sans renouvellement d'oxygène. Les palétuviers font place au groupement à Typha. Les débris végétaux s'accumulent et les fermentations organiques sont intenses, avec dégagement d'anhydride sulfureux.

Alluvions salées et bras morts infiltrés représentent le contact avec le complexe fluvial.

## 7. Le complexe littoral

71. Dunes vives : Le littoral est bordé sur presque toute sa longueur par une crête dunaire de couleur claire à caractères éoliens accentués. Dans certains secteurs il s'agit de formations actuelles ; ailleurs, d'un simple rajeunissement de la formation flandrienne. La déflation actuelle s'exerce même sur des dunes situées à l'intérieur des terres à BELALANDA, TULEAR et BETSINJAKA.

72. Crêtes de plage et atterrissements coralliens : Des cordons de plage à crêtes multiples formés de sables grossiers superficiellement éolisés sont développés parallèlement à la côte autour des lieux-dits ANKATRAKA, ANKORONGA et ANKILIBE. Leur matériau est riche en calcaire, leur base est baignée par une nappe saumâtre.

Au nord du FIHERENANA, on observe un alignement de cordons formés par des sables particulièrement grossiers et riches en éléments coralliens.

---

\* La dynamique du comblement explique que sous les alluvions fluviales, on pourrait retrouver une succession verticale de dépôts correspondant aux sables marins, à la mangrove et aux évaporites. Dans les canaux de la saline de MOTOMBE on observe d'ailleurs la vase de mangrove et les palétuviers fossilisés sous une épaisseur importante d'évaporites.

73. La mangrove littorale : Elle se réduit à des banquettes étroites et très peu profondes établies en front de mer sans abri, ni substrat particulier. Il est intéressant de relever que leur fixation résulte d'un processus biologique et non pas seulement mécanique ou physico-chimique : la vase colloïdale est fixée par des algues filamenteuses, Vaucheria sp. (DERIGEARD, 1966).

74. Les marécages sub-littoraux : Il s'agit de marécages lagunaires barrés par les cordons littoraux. La mer les envahit lors des grandes marées ; ils ne reçoivent pas d'alluvions mais sont comblés par le colluvionnement des sables roux voisins selon une séquence analogue à celle du domaine estuarien. On y rencontre de petites superficies de mangroves à substrat sableux, des marécages à substrat fluide et organique (type mangrove décadente), des marécages à croustes salines et des évaporites.

#### IV. SEDIMENTOLOGIE

Une étude sédimentologique des matériaux sableux des sols a été conduite à l'échelle du bassin sédimentaire entre RANOMIRA et TUJEAR\*.

La granulométrie a été étudiée au moyen des indices de classement, des facies et des histogrammes. Les minéraux lourds et les aspects de surface des grains ont donné lieu à quelques observations.

Tous les sables ont bien entendu une origine primordiale commune : les roches cristallines et cristalloyphyllicennes du socle. Dans un deuxième temps ils ont été stockés soit dans les grès continentaux, soit dans les calcaires marins soit dans les formations littorales. Dans un troisième temps ils sont libérés (par altération de la roche sédimentaire), remaniés et mélangés au sein des sols.

##### Granulométrie

Les rapports de filiation entre certains sols et leurs substrats étant incertains nous avons cherché par l'analyse des sables à établir des apparentements de matériaux. Un classement graphique empirique, effectué en fonction des médianes et des indices de KRUMBEIN\*\* se trouve confirmé par l'examen des facies granulométriques et permet de distinguer 5 ensembles principaux.

Ensemble 1. Les sables des sols évolués directement au contact des grès de l'ISALO présentent des facies granulométriques linéaires ou peu redressés, des histogrammes multimodaux, des médianes et Qd (phi) élevés.

Ensemble 2. Les sables des sols évolués directement au contact des calcaires (sols peu évolués lithiques et horizons profonds des sols fersiallitiques du karst) présentent des facies typiquement linéaires et des histogrammes multimodaux, des médianes et Qd (phi) élevés.

Ensemble 3. Les sables des matériaux d'épandage issus des grès de l'ISALO par remaniements (butte pliocène de BEFOLY) et ceux des terrasses fluviatiles anciennes rubéfiées présentent des facies redressés à tendance parabolique, nettement distincts des précédents ; les histogrammes sont bimodaux, les médianes élevées et les Qd (phi) moyens. Le transport semble avoir effectué un triage à partir des sables des grès.

---

\* avec la collaboration de M. DELAUNE, SSC ORSTOM, BONDY

\*\* L'indice de KRUMBEIN ou Qd (phi) représente l'écart des dimensions entre le 1er et le 3ème quartile : il exprime le classement du sédiment. Un indice élevé exprime un mauvais triage.

Ensemble 4. Les sables des horizons supérieurs des sols fersiallitiques du karst présentent un faciès légèrement plus redressé que celui des buttes sableuses voisines, des histogrammes souvent unimodaux, des médianes intermédiaires entre celles des sables issus des calcaires et celles des sables d'épandage, le Qd ( $\phi$ ) étant moyen.

Ensemble 5. Les sables dunaires sont caractérisés par un faciès logarithmique, des médianes très faibles, un seul mode et Qd ( $\phi$ ) faibles.

Ce classement semble prouver la nature polygénique des sols rouges du karst qui ne peuvent être considérés ni comme des sols "sur calcaires" ni comme des sols totalement allochtones.

#### Minéraux lourds

A partir de stocks semblables dus à leur origine commune les cortèges ont été sélectionnés soit par le transport, soit par la pédogénèse, soit par les deux processus.

Le transport sélectionne les hornblendes et les grenats qui transitent du socle à la côte par les fleuves et se retrouvent en abondance dans les dunes et les calcaires.

La pédogénèse par contre fait disparaître les grenats et hornblendes ; elle sélectionne en premier lieu les zircons et à un moindre degré les tourmalines. Epidotes, rutilés et monazites subsistent dans presque toutes les formations bien qu'en quantités variables, fonctions des accidents de la sédimentation.

Des cortèges dominés par le zircon (plus de 60 %), comportant des épidotes et monazites (10 à 15 % de chaque espèce) et des rutilés (5 %) caractérisent tous les sols tributaires des sables de l'arrière-pays (socle et Isalo), épandus au Pliocène et redistribués durant l'Aépyornien :

buttes sableuses pliocènes de BEFOLY  
horizons supérieurs des sols fersiallitiques du karst.

Des cortèges dominés par les grenats (de 30 à 50 %) et où figurent des hornblendes, des zircons et des épidotes en quantités notables caractérisent les sables issus des calcaires et les formations littorales :

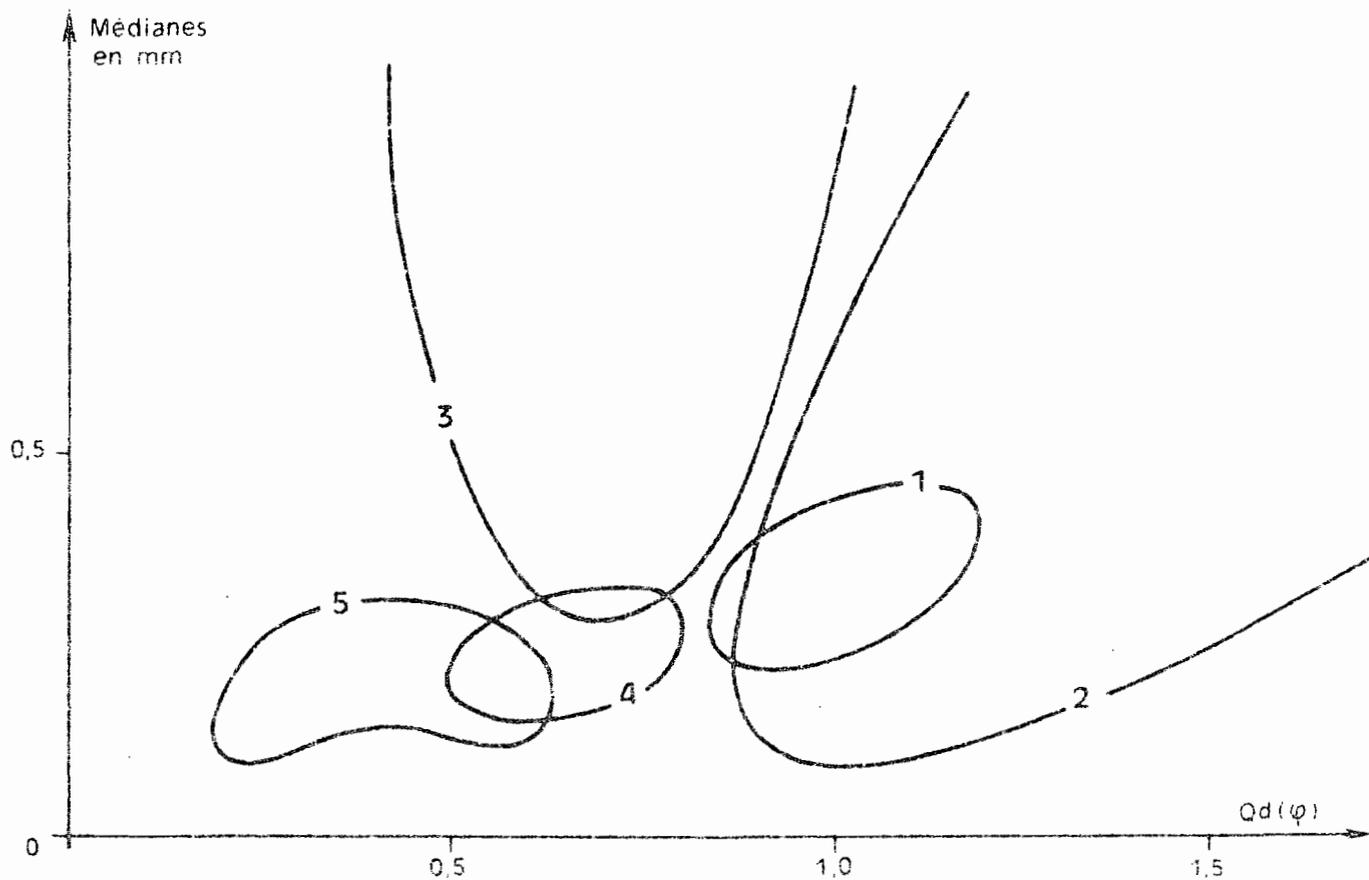
sols lithiques sur calcaires  
sols peu évolués ou paléosols sur dunes.

Les terrasses rubéfiées anciennes de l'ONILAHY s'apparentent au premier groupe; celles du FIHERENANA s'en distinguent par une grande abondance de grenats dont on ne peut présumer l'origine.

Les horizons profonds des sols rouges du karst qui se distinguaient très nettement des horizons supérieurs par le faciès granulométrique s'en distinguent peu quant au cortège : il semble cependant qu'un enrichissement en grenats et un étalement plus grand du spectre (présence en petites quantités de hornblendes, andalousites, sillimanites, distènes, staurotides, tourmalines, corindons, anatase) indiquent que des résidus de décarbonatation se sont ajoutés aux matériaux d'épandage.

Position graphique des principaux types de sols  
de la région de TULEAR

- Ensemble 1 : Sols en place sur grès
- Ensemble 2 : Matériaux de décarbonatation
- Ensemble 3 : Sables détritiques continentaux
- Ensemble 4 : Matériaux mixtes des sols du karst
- Ensemble 5 : Matériaux dunaires



## V. VEGETATION

Les relevés botaniques inclus dans ces chapitres sont empruntés aux travaux de BOSSER et HERVIEU (1958), HUMBERT et COURS DARNE (1965), DERIGEARD (1966) et GRAFFIN (1964). Les relevés de J. BOSSER étaient particulièrement complets ; leur diffusion ayant été relativement restreinte et les tirages en étant épuisés il a paru opportun de les reproduire.

BOSSER et HERVIEU distinguent la végétation "climatique" qui occupe le plateau, les glaciis d'accumulation et les formations dunaires de la végétation "édaphique" limitée au domaine fluvio-marin salé et de la végétation "adventice" des alluvions ou sables roux défrichés.

Il convient de noter que parmi les groupements végétaux "climatiques" certains sont strictement calcicoles, d'autres strictement calcifuges. C'est le cas du groupement à Euphorbia stenoclada inféodé aux dunes flamandaises calcaires et du groupement à Didierea madagascariensis inféodé aux sables roux.

### 1) Végétation du plateau calcaire

- La forêt sèche caducifoliée occupe l'intérieur du plateau. La futaie, haute de 12 à 15 m est surtout constituée par des Légumineuses, des Anacardiées (Protorhus Perrieri, Protorhus Humberti), des Méliacées, des Sapindacées (Erythrophysa), des Mimosées (Albizzia polyphylla, Albizzia greveana), des Sapotacées (Sideroxylon collinum), et on y trouve parfois le flamboyant, Poinciana (Delonix) regia. Quelques grands arbres dominent la futaie : Adansonia (baobab), Diospyros et Acacia. Les Palmiers, les Fougères et les épiphytes manquent. Les arbustes du sous-bois sont surtout des Euphorbiacées, des Légumineuses, des Acanthacées, des Rubiacées, et parmi les lianes des Asclépiadacées, des Passifloracées, des Légumineuses.

- Dans la partie occidentale du plateau calcaire, la forêt fait place au bush. Il est notoire que l'une et l'autre sont d'ailleurs en voie de disparition en raison des défrichements intensifs (Tavy).

Dans ce bush où les Euphorbes arborescentes sont nombreuses, la végétation est caractérisée par des espèces spéciales dont Erythrophysa aesculina (Sapindacée), un Harpagophytum arbustif à fleurs roses (Pédaliacée), Euphorbia fiherenensis (Euphorbiacée).

Le cortège des plantes de cette formation est nombreux, et nous ne citerons que les plus marquantes : Operculicarya Decaryi (Anacardiacee), Psilotrium madagascariensis (Amaranthacee), Stereospermum nematocarpum (Bignoniacee), Ficus marmorata (Moracee), Digoniopterys microphylla (Malpighiacee), Terminalia subserrata (Combrétacee), Commiphora Humberti, C. grandifolia (Burséracee), Holmskioldia microphylla (Verbénacee), Asparagus calcicolus (Liliacee), Hippocratea urceolus ssp., xerophila (Hippocratéacee), Vernonia sublutea (Composée), divers Croton (Euphorbiacee), Achyrocalyx vicinus, Blepharis calcitrapa, Echolium linneanum var. oblongum, Forsythiopsis vincoides, Stenandriopsis humilis (Acanthacee).

Les zones à croûtes calcaires de la bordure occidentale sont signalées par Alluaudia comosa (Didiéréacee) qu'on retrouvera aussi sur les croûtes calcaires du relief d'ANKASY.

Les clairières à sols rouges (Fersiallitiques) sont occupées à défaut de cultures par la savane arborée à Heteropogon contortus (danga) avec Poupartia caffra (sakoa), Gymnosporia polyacantha, Dicoma incana et quelques Adansonia résiduels.

Un flot de bush à Didiéréacées a été observé sur la butte de sables grossiers de BEFOLY.

## 2) Végétation des glacis d'accumulation marneux et calcaires

C'est un bush arbustif xérophile caractérisé par Salvadora angustifolia (Salvadoracee), Jatropha mahafalensis, Euphorbia Laro (Euphorbiacee) avec Gyrocarpus americanus (Hernandiacee), Plumbago aphylla (Plumbaginacee), Xerocisyos Danguyi (Cucurbitacee), Aloe divaricata (Liliacee), Acacia sp. (Légumineuse), Flugga microcarpa (Euphorbiacee), Commiphora sp. (Burséracee), Cedrelopsis sp. (Méliacée), Secamonopsis madagascariensis (Asclépiadacee) et divers arbustes appartenant aux familles des Tiliacées, Légumineuses, Acanthacées.

Quelques placages isolés de "sables roux" sont signalés par la présence de Didierea madagascariensis.

## 3) Végétation des sables et grès dunaires

- Les sables roux dunaires sont décarbonatés (sols fersiallitiques). Ils étaient naguère intégralement recouverts par une végétation très caractéristique : le bush xérophile à Didierea madagascariensis (Didiéréacee). Les

principales espèces de ce groupement sont les suivantes : Gyrocarpus americanus (Hernandiaceae), Terminalia divaricata, T. ulexioides (Combrétacée), Kigelianthe madagascariensis var. brevis (Bignoniaceae), Talinella Grevei (Portulaccacée), Cedrelopsis sp., Rhopalopipilia Perrieri (Opiliacée), Croton Geayi (Euphorbiacée), Clerodendron globosum (Verbénacée), Helinus ovatus (Rhamnaceae), Aerva madagassica (Amaranthacée), Adenia elegans (Passifloracée), Bauhinia Grandidieri, Ghadsia sp. (Légumineuses), Aloe divaricata (Liliacée), Poivrea Grandidieri (Combrétacée), Microstephanus cernuus (Asclépiadacée), Euphorbia Laro (Euphorbiacée), Acacia sp., Grevia sp., Solanum sp., Cynanchum sp.

Le bush à Didierea s'étend sur les sables roux d'épandage plus ou moins éolisés au nord et sur les terrasses alluviales rubéfiées. Nous avons déjà signalé la présence d'un groupement résiduel à BEFOLY.

En but aux défrichements, le bush fait place aux cultures ou aux jachères.

- Sur les grès dunaires encroutés du relief d'ANKASY se retrouve le bush calcicole à Alluaudia comosa.

-- Les dunes fixées calcaires (sols peu évolués) flandriennes de couleur beige portent très caractéristiquement un groupement à Euphorbia stenoclada. Les principales espèces de ce groupement sont les suivantes : Poupartia minor Anacardiaceae (rare), Gymnosporia polyacantha var. hybrida (Célastracée), Commiphora Lamii (Burséracée), Amisotes madagascariensis, Barleria Humberti (Acanthacées), Microsteira tulearensis (Malpighiacée), Aerva coriaces (Amaranthacée) Azima tetraacantha (Salvadoracée), Plumbago aphylla (Plumbaginacée), Vernonia Antandroy (Composée), Leptadenia reticulata (Asclépiadacée), Panicum Voeltzkowii (Graminée).

#### 4) La végétation du complexe fluvial

- Les terrasses anciennes rubéfiées portent le bush à Didierea, particulièrement dense autour du tombeau des rois de MIARY. Les terrasses non rubéfiées de textures moyennes ou fines sont cultivées ou en friches.

- Les alluvionnements récents de sables grossiers du delta du FIFHERENANA et des rives portent des groupements pionniers. Sur les rives ils sont formés de Phragmites mauritianus (Graminée) ou d'Acacia farnesiana (Légumineuse), Pluchea Grevei (Composée) avec plus ou moins de Cynodon Dactylon (Graminée). Dans le delta lui-même la végétation est peu dense, on retrouve dispersées les espèces précédemment citées, auxquelles s'ajoute le Leptadenia reticulata (Asclépiadacée).

### 5) La végétation des sols salins de l'estuaire

- Les alluvions argileuses salées (sols salés à alcalis) portent des prairies rases à Cressa cretica. Cette convolvulacée est adaptée aux salinités fortes, de 10 à 60 millimhos/cm de conductivité et occupe souvent le terrain seule. Sur certaines zones quelques arbustes l'accompagnent : Azima tetracantha, Salvadora angustifolia (Salvadoracée) rabougris, Pluchea Grevei.

Les Sporobolus sont adaptés aux salinités moyennes assorties d'hydromorphie mais sur les taches les plus salées réapparaît le Cressa cretica, et sur les buttes moins soumises à l'action de la nappe, végètent Salvadora angustifolia et Pluchea grevei. L'Arthrocnemum pachystachyum s'introduit parfois dans le groupement à Cressa ; il dénoterait un accroissement de l'hydromorphie plutôt que de la salinité.

- La bordure des évaporites et des marécages salés (sols à encroutement salin) est colonisée en premier lieu par l'Arthrocnemum pachystachyum qui, on population pure, apparaît comme le groupement le plus résistant aux sels ; il est parfois accompagné de Salsola littoralis.

En arrière des évaporites la zone sporadiquement couverte par les premiers placages alluviaux, les voiles éoliens et les nebkas portent le groupement à Zygophyllum depauperatum, Salvadora angustifolia, Pluchea Grevei.

En outre on trouve dans ce groupement Azima tetracantha (Salvadoracée), Lycium tenue (Solanacée), Atriplex Perrieri (Chenopodiacee). Quelques buttes sont parfois cultivées en maïs ; les adventices sont Cynodon dactylon, Cenchrus ciliaris, Panicum Voeltzkowi (Graminées).

- Les sortes d'évaporites constituées près du terrain d'aviation par comblement de marécages sublittoraux par les sables roux (sols à encroutement salin) sont caractérisés par Sclerodactylon macrostachyum (Graminée) avec Salsola littoralis (Chénopodiacee), Ipomea pes-caprae (Convolvulacée), Sporobolus sp. et parfois quelques arbustes : Pluchea Grevei (Composée), Hyphaene shatan (Palmier), Acacia sp., quelques Phoenix reclinata (Palmier) s'observent en bordure de cette zone, avec Cryptostegia madagascariensis (Asclépiadacée).

En aval, le groupement à Juncus maritimus occupe les marécages sublittoraux, à la limite des évaporites et des mangroves décadentes. Associés au Juncus, on observe Paspalum vaginatum, Cyperus laevigatus, Sporobolus sp., Triglochin striatum (Scheuzériacées). En bordure végète parfois Acrostichum aureum (Polypodiacee).

## 6) Végétation du littoral

- Les dunes vives (sols bruts d'apport) sont d'abord nues, puis colonisées par Scaevola Plumieri. On en trouve sur la plage de la Batterie, mais le peuplement n'est pas assez dense pour être efficace.

- Les banquettes de la mangrove littorale sont peuplées de Sonneratia alba (Sonneratiacée) et d'Avicennia officinalis (Avicenniacées). Les mangroves d'estuaire et de fond de baie sont formées de Rhizophora mucronata, Bruguiera gymnorhiza et Ceriops Boiviniana. A la limite du groupement à Typha, on trouve Lumnitzera racemosa (Combrétacée) avec Acrostichum aureum.

- Les mangroves décadentes (sols humiques à gley salés) sont envahies par le groupement à Typha angustifolia auquel peut se substituer Acrostichum aureum dans les marigots confinés à grand développement de sulfures. A l'inverse, les parties les mieux drainées portent Paspalum vaginatum et Cyperus laevigatus associées aux Typha.

## 7) La végétation des zones cultivées

Ces zones sont constituées principalement d'alluvions et de sables roux.

- Sur alluvions, les cultures traditionnelles sont des cultures vivrières : pois du Cap (Phaseolus lunatus), maïs, manioc, sorgho, patates. Le coton y a pris une place importante. Des bouquets d'arbres, manguiers, bananiers, bois noirs (Albizzia Lebbeck) ou, plus près de la côte, cocotiers, sont conservés dans les champs, ce qui donne à l'ensemble un aspect de parc. Parmi les adventices des cultures nous citerons les plus fréquentes : Tridax procumbens, Ambrosia maritima, Sonchus oleraceus, Lactuca gorrensis, Parthenium hysterophorus, Acanthospermum hispidum (Composées), Hibiscus panduriformis, Abutilon asiaticum, A. Greveanum, Sida sp. (Malvacées), Enneapogon cenchroides, Panicum Voeltzkowi, Cynodon dactylon, Sorghum verticilliflorum, Brachiaria cruciformis (Graminées), Cyperus rotundus (Cypéracée), Tribulus terrestris (Zygophyllacée), Argemone mexicana (Papavéracée), Aerva javanica (Amaranthacée), Tephrosia purpurea (Légumineuse). Les vieilles jachères évoluent vers un groupement à Cynodon dactylon ou une brousse à Phragmites mauritianus, Pluchea Grevei, Acacia farnesiana.

- Sur sables roux le bush xérophile à Didierea a été défriché autrefois pour des cultures de sisal puis pour le coton. Les adventices sont : Boerhaavia vulgarifolia (Nyctaginacée), Leptadenia reticulata (Asclépiadacée), Enneapogon cenchroides, Panicum Voeltzkowi, Eragrostis cilianensis, Cenchrus ciliaris (Graminées). Dans les cultures non entretenues, on note des repousses du bush primitif : Kigelianthe madagascariensis var. Grevei (Bignoniacée), Ghadsva sp. (Légumineuse), Mollugo decandra (Aizoacée), Rhizogum madagascariense (Bignoniacée).

### 8) Evolution naturelle de la végétation

Au cours des 7 dernières années nous avons observé une activité intense de défrichement qui pourrait modifier radicalement l'environnement de TULEAR si l'on n'y porte pas remède.

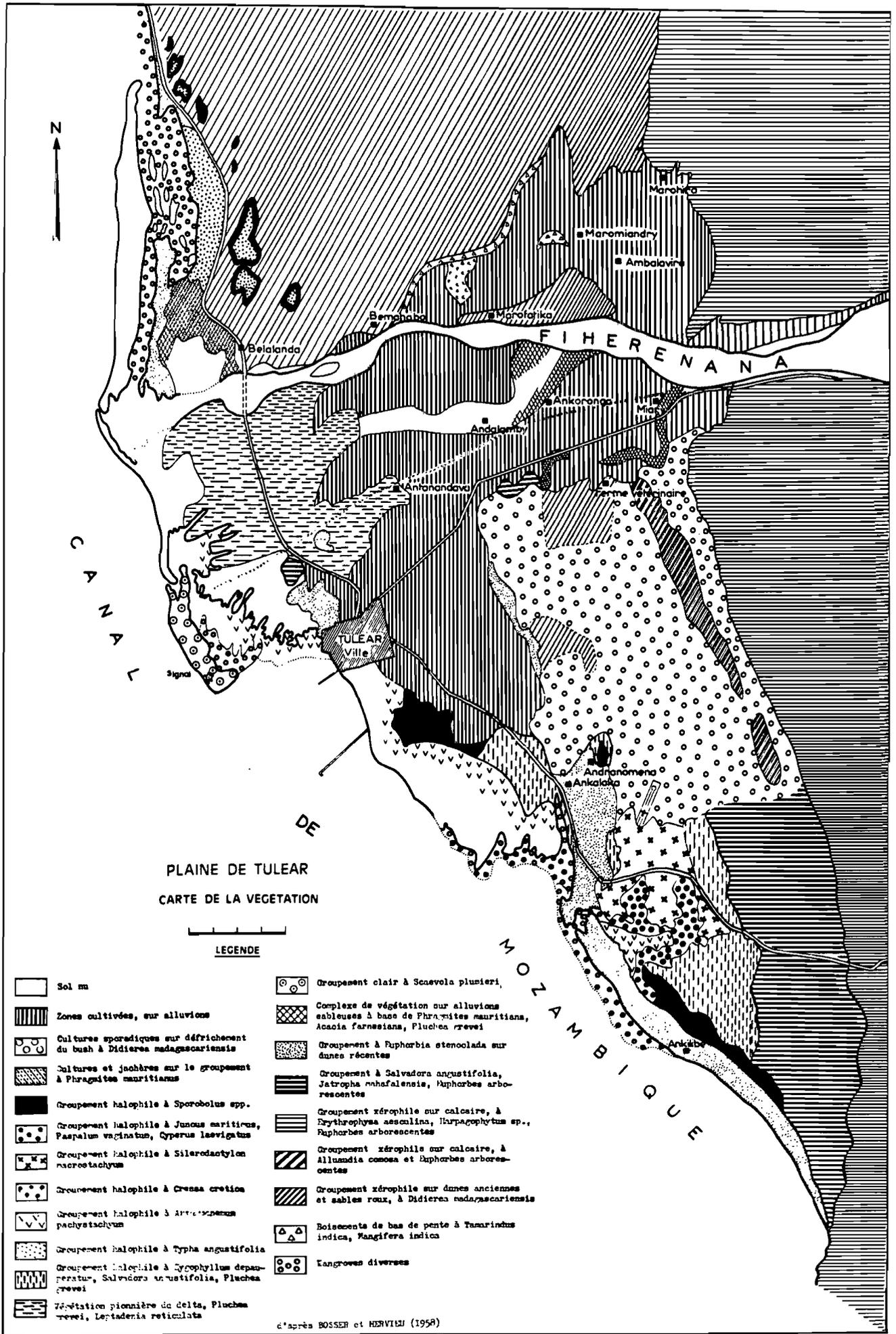
Sur le plateau, la forêt et le bush à Euphorbiacées reculent rapidement devant la pratique du "tavy" (brûlis). Les tavy découvrent parfois des cuvettes ou thalwegs à fond sableux propices aux cultures de manioc, mais plus souvent des lithosols et régosols sur lesquels les cultures les moins exigeantes ne subsisteront pas longtemps et qui seront réenvahis par une brousse secondaire, non sans avoir vu leur érosion aggravée.

La dégradation de la forêt est particulièrement intense à proximité de TULEAR où se fait une grande consommation de bois. Les pentes de la falaise, les versants des canyons et la Table sont particulièrement dévastés, et cela n'est pas sans conséquence sur la conservation des sols et des eaux.

Dans la plaine de TULEAR, le bush à Didierea avait été partiellement défriché autrefois au profit des cultures de sisal et plus récemment des cultures irriguées (coton, tournesol, ...). Ce qu'il en restait est très entamé pour la production de charbon de bois.

Il n'est pas jusqu'aux sables roux grossiers de la rive nord du FIHERENANA, réputés autrefois stériles, qui n'aient été défrichés et plantés de manioc, entre BELALANDA et TSONGORITLO.

Il y a quelques dangers d'y provoquer des déflations éoliennes.



PLAINE DE TULEAR  
CARTE DE LA VEGETATION

LEGENDE

- |   |   |
|---|---|
| Sol ma  | Groupement clair à <i>Scaevola plumieri</i>   |
| Zones cultivées, sur alluvions  | Complexe de végétation sur alluvions sableuses à base de <i>Phragmites mauritiana</i> , <i>Acacia farnesiana</i> , <i>Pluchea zvevi</i> |
| Cultures sporadiques sur défrichement du bush à <i>Didierea madagascariensis</i>                              | Groupement à <i>Ruphorbia stenoclada</i> sur dunes récentes   |
| Cultures et jachères sur le groupement à <i>Phragmites mauritiana</i>   | Groupement à <i>Salvadora angustifolia</i> , <i>Jatropha mahafalensis</i> , <i>Ruphorbes arborescentes</i>                              |
| Groupement halophile à <i>Sporobolus</i> spp.   | Groupement xérophile sur calcaire, à <i>Erythrophysa ascanina</i> , <i>Harpagophytum</i> sp., <i>Ruphorbes arborescentes</i>            |
| Groupement halophile à <i>Juncus maritimus</i> , <i>Paspalum vaginatus</i> , <i>Cyperus laevigatus</i>        | Groupement xérophile sur calcaire, à <i>Allouardia comosa</i> et <i>Ruphorbes arborescentes</i>   |
| Groupement halophile à <i>Silerodactylon macrostachyum</i>  | Groupement xérophile sur dunes anciennes et sables rouges, à <i>Didierea madagascariensis</i>   |
| Groupement halophile à <i>Cressa cretica</i>  | Boisements de bas de pente à <i>Tamarindus indica</i> , <i>Mangifera indica</i>   |
| Groupement halophile à <i>Arthrocnemum pachystachyum</i>  | Mangroves diverses  |
| Groupement halophile à <i>Typha angustifolia</i>  |   |
| Groupement halophile à <i>Cycophyllum depauperatum</i> , <i>Salvadora angustifolia</i> , <i>Pluchea zvevi</i> |   |
| Végétation pionnière de delta, <i>Pluchea zvevi</i> , <i>Leptadenia reticulata</i>                            |   |

d'après BOSSER et HERVIEU (1958)

2ème PARTIE : LES SOLS \*

=====

I. SOLS MINÉRAUX BRUTS

SOLS D'ORIGINE NON CLIMATIQUE

Sols d'érosion

=====

31. Lithosols

a. sur calcaires

roches calcaires

Il s'agit de calcaires organogènes de couleurs claires, de texture microcristalline ou microgranulaire compacte. Ils sont purs (98 % de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ), durs ; les fossiles (alvéolines surtout) sont très apparents.

L'exhumation de bancs calcaires en chaos caverneux est favorisée par la pente des cuestas, falaises et canyons. L'exhumation de lapiaz, dégagés de leur manteau de sols fersiallitiques caractérise le karst découvert. On remarque des ornements superficiels (lapiez) ciselés à même la roche, sans interpositions de croûtes ; ces lapiez sont aigus et durs.

croûtes calcaires

Il s'agit le plus souvent de formations tendres de texture cryptocristalline, très vacuolaires et d'aspect crayeux. La couleur est blanche ou jaune claire avec des zonations roses. La teneur en carbonate de calcium est supérieure à 99 % ; les croûtes incluent de la matière organique aux taux de 3 à 9 ‰. Ces croûtes se présentent en plaques individualisées, déchaussées par l'érosion et paraissant posées sur un substrat limono-calcaire. Le matériau en est fragile, mais protégé superficiellement par une croûte zonée, ornée de lapiez beaucoup moins aigus et durs que ceux qui ornent les roches.

---

\* Classification selon G. AUBERT (1965) et le code des groupes et sous-groupes modifié le 18.11.66 (AUBERT et SEGALLEN, O.R.S.T.O.M., inédit).

L'examen de lames minces ou de coupes polies donne à penser que les croûtes se substituent à des roches calcaires, tendres à l'origine ou imparfaitement dissoutes, ultérieurement réenrichies en calcaire et durcies. On devine en effet la trame originelle d'un calcaire organogène et les contours de fossiles fantômes noyés dans le calcaire de néoformation.

A la périphérie s'individualise une pellicule lamellaire ; elle est plus ou moins teintée de rose par l'altération de grains de magnétite allochtones qui l'ont contaminée.

La croûte calcaire qui recouvre le grès dunaire du relief d'ANKASY est différente car elle renferme 40 % de sables. On observe cependant en coupes que des zones de texture gréseuses sont séparées par des zones crayeuses exemptes de sables.

Les croûtes calcaires de la région de TULEAR procéderaient donc par exhumation, recarbonatation, durcissement et zonation d'une roche calcaire tendre et poreuse préalablement délitée mais non dissoute. De telles croûtes semblent liées à la nature des roches (calcaires impurs), au modelé (topographie "normale" et milieu relativement confiné), et à une variation climatique telle qu'un régime hydrique favorable aux remontées capillaires succède à un régime lixiviant. Il ne semble pas que les apports obliques ni l'évaporation au niveau des racines ou d'autres mécanismes classiques soient en cause. On n'observe d'ailleurs pas de morphologies feuilletées, radiciformes ou nodulaires.

#### brèches et croûtes bréchoïdes à ciment rouge

Au pied des escarpements de faille et au fond de certains thalwegs se trouvent des brèches à ciment calcaire rouge ou rosé, qui résultent de la consolidation d'apports détritiques hétérométriques. Très semblables d'aspect mais génétiquement différentes seraient les formations que nous avons nommées "croûtes bréchoïdes à ciment rouge". Elles sont formées des éléments suivants :

- des graviers arrondis de calcaire organogène parfaitement sain, plus ou moins pourvus en minéraux opaques et généralement très pauvres en quartz ; des fossiles résistant isolément à la corrosion.
- des ciments de couleur rouge-rosé (Munsell 10 R 6/3-4) ou rouge moyen (10 R 5/3-4) ou grenat clair (2,5 YR 6/6) dont la grande richesse en quartz et en minéraux opaques contraste avec la pauvreté du calcaire organogène.
- des zones plus vivement colorées résultant du blocage de substances solubles autour d'inclusions. Il semble que le processus de rubéfaction consiste en la transformation de la magnétite en hématite, puis en substances cryptocristallines ou amorphes qui diffusent et colorent le ciment.

Les mêmes éléments constituent les horizons de contact sol-calcaire dans les profils de sols rouges. Nous considérons donc les croûtes bréchoïdes comme résultant de leur érosion et de leur pétrification. On les observe d'ailleurs en terrain plat, à la limite des zones de karst couvert. Elles sont affectées de ciselures superficielles (lapiez) extrêmement dures et aiguës.

### répartition

Les lithosols cartographiés seuls sont du type "roche" au sommet de la TABLE et du type "croûte" ailleurs (relief d'ANKASY et cote 207).

Cartographiés en complexes, il s'agit ordinairement du type "roche" et du type "croûte bréchoïde" lorsqu'ils sont associés aux sols fersiallitiques ; ils caractérisent la morphologie karstique développée sur les calcaires purs et durs de l'Eocène I. Le type "croûte" est associé aux sols lithiques à faciès brun-calcaire ; ils caractérisent la morphologie faiblement karstique ou normale développée sur les calcaires de l'Eocène II.

### aptitudes

La présence des lithosols sur les grandes étendues du plateau n'empêche pas le développement de la forêt ou du bush ; les arbres profitent de la discontinuité des formations dures pour coloniser les interstices où se trouvent les formations meubles associées.

Il est regrettable que ces surfaces soient défrichées par "tavy" et livrées à l'érosion, car la proportion des sols meubles est appelée à se réduire au profit des lithosols et l'on ne voit pas quelle culture pourrait y compenser la destruction du capital forestier.

## Sols d'apport

### 41. Fluvatile

#### a. sables grossiers

Ces sables constituent les lits des fleuves et affluents de couverts, en période d'étiage. Les profils consistent en strates entrecroisées de compositions infiniment variables, à base de sables grossiers ou moyens, inséparables de banquettes limoneuses d'existence également éphémère.

Ces sables sont de couleur jaune très claire (10 YR 7/2) ; ils sont très peu ou non calcaires.

Lors des détournements temporaires des fleuves, ces sables peuvent être colonisés par le bararatra (Phragmites mauritianus) ; ils sont parfois cultivés (Patates et cucurbitacées).

#### 42. Marin

##### a. sables grossiers coralliens

Il s'agit de bancs de sables calcaro-quartzeux où dominent les débris de mollusques et de madrépores. Ils sont peu élevés au dessus du niveau des marées et partiellement colonisés par le mangrove d'estuaire des chenaux adjacents.

#### 43. Eolien

##### a. sables fins

Il s'agit des grands ensembles dunaires de LA BATTERIE et de SARODRANO ainsi que des remaniements locaux qui affectent les dunes flandriennes. Leur composition minéralogique est variable selon les stations.

Leur couleur correspond à la nuance la plus pâle de la carte Munsell 10 YR (10 YR 8/1) et par contraste avec les sables "roux" ils peuvent être dits "blancs". Cependant on observe déjà à LA BATTERIE une différence entre les dunes de premier et de second rang qui sont d'une nuance plus foncée (10 YR 7/2).

Ces sables sont nus ou colonisés par Scaevola Plumieri et Ipomea pescaprae.

## II. SOLS PEU EVOLUES

### SOLS D'ORIGINE NON CLIMATIQUE

#### Sols d'érosion

#### 41. Sols lithiques

##### a. sur calcaires durs, faciès brun-calcaire

Profil type : TUS 9

On remarque dans ces profils :

- le taux très élevé du calcaire dès la surface,
- le taux élevé des limons,
- l'absence d'horizons nettement différenciés,
- les couleurs se situent dans les nuances pâles ou rosées du jaune (10 YR);  
il n'y a aucun indice de rubéfaction.

L'humus est concentré dans l'horizon superficiel et peu polymérisé. La capacité d'échange est faible. Bien qu'en situations privilégiées on puisse trouver des profils un peu moins érodés et plus évolués, nous n'avons jamais observé de rendzines.

Ces sols ne forment pas d'unités étendues, mais occupent une grande proportion des unités complexes C1, C2, C3.

##### b. sur sols rouges tronqués, faciès brun calcaire

Profil type : TUS 306

Sur le plateau l'érosion amène en surface les horizons d'anciens sols fersiallitiques, constitués de morceaux de calcaire noyés dans un matériau d'altération limoneux, jaune ou ocre, et de localisations résiduelles de matériau rouge décarbonaté.

Ces horizons acquièrent en surface la morphologie de sols bruns calcaires, pour autant que l'érosion permette leur développement, ce qui n'est généralement pas le cas.

Les discontinuités originelles entre bancs de calcaire donnent lieu à l'apparition de minces croûtes zonées, discontinues, surmontant chacun des bancs lorsqu'ils sont délités. Ces croûtes manifestent une modification du régime hydrique, dont le bilan, autrefois favorable à la lixiviation tend maintenant à l'évaporation.

Ces sols représentent un stade d'érosion intermédiaire entre les sols fersiallitiques et les lithosols auxquels ils sont d'ailleurs associés dans l'unité complexe C1.

### c. sur calcaires tendres, faciès isohumique

Profil type : TUS 421

La roche étant tendre, ces profils sont plus profonds que les précédents. On remarque la répartition du calcaire et de la matière organique en gradients réguliers et contraires. La texture présente un léger lessivage. Les couleurs sont dans les tons bruns (7,5 YR) et la structure est développée en éléments de petites tailles.

Ce type de profil est inféodé aux grès calcaires tendres à débit cubique qui affleurent autour de la butte sableuse de BEFOLY et à la périphérie de la cuvette d'ANKAZOMANGA (sud de la feuille).

#### aptitudes des sols lithiques

La profondeur de matériau meuble exploité par les racines des essences forestières est plus grande que ne le laisse supposer l'aspect érodé de la surface. Néanmoins, en raison de l'inaptitude probable des sols des familles a et b aux cultures, et de leur vulnérabilité de l'érosion, il semble indispensable de préserver ou de reconstituer le couvert du bush ou de la forêt. L'élimination définitive d'un couvert déjà très entamé comporterait des répercussions graves sur l'équilibre biologique, voire la météorologie et l'hydrologie régionales.

Les sols de la famille c ont été partiellement défrichés et portent de médiocres cultures (manioc) ou des friches graminéennes servant de parcours. Il serait opportun de les reboiser.

## 42. Sols régoliques

### a. sur marnes à huitres, faciès isohumique

Profil type : TUS 500

Dans ces profils on observe une texture limoneuse et un taux élevé de calcaire. Le gradient du calcaire est inverse de celui de la matière organique, régulier mais peu accentué. Les couleurs se situent au plus dans les nuances pâles des tons bruns et plus généralement dans les tons jaunes (10 YR) voir olive (2,5 YR). Le caractère isohumique de tels profils est discutable, cependant ils représentent le premier terme d'une séquence qui, par différenciations croissantes, aboutit (vers le nord) à des sols bruns subarides bien caractérisés.

Ces sols sont très caractéristiques de l'affleurement ou de l'épandage des marnes à huitres de l'Eocène III et du Miocène.

b. sur matériaux détritiques calcaires ; faciès isohumique

Profil type : TUS 83

Les matériaux originels sont des matériaux d'apports : calcaires, marnes, sables roux, etc ...

Ces sols occupent le bas des pentes calcaires et le fond de tous les thalwegs qui débouchent sur le FIHERENANA et l'ONILAHY.

c. sur placages éoliens et colluviaux : faciès complexe

Il n'y a pas lieu de décrire un profil type de ces sols ; ils sont généralement formés d'horizons de "sables roux" d'origine éolienne, plaqués ou colluvionnés au-dessus de matériaux calcaires limoneux. Selon leur profondeur, les horizons sableux sont plus ou moins recarbonatés par capillarité et peuvent présenter une répartition de type isohumique du calcaire et de la matière organique qui se stabilise au contact de cet apport calcique.

Ces sols occupent de petites surfaces localisées dans les unités complexes C2 et C3.

aptitudes des sols régoliques

Ces sols sont exagérément calcaires et secs. Ils sont peu fertiles et vulnérables à l'érosion en rigoles. Leur couvert de bush ou de forêt doit être préservé.

Sols d'apport

51. Sols d'apport modaux

a. sables fins et divers ; faciès isohumique

Profil type : TUS 605

Ces profils sont observés sur dunes ou sur cordons de plage éolisés ; ils présentent une texture homogène étroitement calibrée à la taille des sables fins. La teneur en calcaire est variable. On observe des profils presque exempts de calcaires à SARODRANO et à BELALANDA sous le vent de l'embouchure des fleuves, le sable étant essentiellement fluviatile et quartzeux à l'origine. Par contre les dunes littorales éloignées des embouchures ou au vent de celles-ci comportent une proportion plus élevée d'apports coralliens et sont plus fortement calcaires à l'origine.

La teneur en calcaire moyenne est de l'ordre de 40 % dans les cordons de plage et 10 % dans les dunes.

La matière organique est peu abondante mais très profondément et régulièrement répartie.

En front de mer et à proximité des lagunes ces sols peuvent être très légèrement salins.

Il n'y a jamais de décarbonatation totale ni de rubéfaction dans ces profils, mais il y a concentration de carbonates en profondeur (jusqu'à 40 % dans les dunes) et grésification des horizons enrichis lorsque ceux-ci sont entaillés par la mer. Cette grésification n'est pas sensible à l'intérieur de la dune.

Ces sols sont caractéristiques de la dune flandrienne qui borde la côte du sud-ouest de Madagascar et marque le paysage par sa couleur beige et la végétation à Euphorbia stenoclada. Il va de soi que ces dunes n'ont aucun intérêt agricole et qu'il est opportun de les garantir contre toutes reprises de l'éolisation.

Le déferlement de la dune flandrienne (Q3) vers l'intérieur des terres fossilise la dune karimboliennne formée de "sables roux-clairs" (Q22) (cf. Profil TUS 605).

#### b. sur sables grossiers ; faciès isohumique ou halomorphe

Il s'agit d'un bras mort du FIHERENANA qui longeait le talus de sables roux au sud de BEFANAMY et atteignait la mer par BETSINJAKA et MOTOMBE. Quelques carrières de sables montrent des horizons grossiers à stratification entrecroisée, humifères. A MOTOMBE ces sables viennent couvrir les évaporites et sont salins.

#### aptitudes des sols d'apports modaux

Les cordons dunaires sont exposés à la déflation et aux embruns ; les bras morts sont exposés aux crues. La texture sableuse grossière des uns et des autres est défavorable aux cultures. L'important est de les fixer et de ne pas laisser l'éolisation reprendre de l'activité.

L'habitat rural s'installe volontiers sur les sables grossiers fluviatiles et les dunes sont parfois occupées par les tombeaux.

L'étude de ces sols ne présente d'intérêt que par comparaison avec les dunes rubéfiées adjacentes et en raison de la stratification de ces diverses formations dunaires.

L'existence d'un lessivage limité du calcaire dans les dunes flandriennes (sols peu évolués) contraste avec le fait que les sables rubéfiés fossilisés sous la dune calcaire peuvent ne pas être le moins du monde réenrichis en calcaire. Ainsi à IFATY - au nord de la carte - les sables roux ( $\text{CO}_3\text{Ca} = 0\%$ ) apparaissent fossilisés à la base de la dune flandrienne beige (40 % de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) entaillée par le front de mer.

## 52. Sols d'apport hydromorphes

- a. sur alluvions fines ou moyennes
- b. sur alluvions moyennes à grossières

Les matériaux alluviaux qui constituent les terrasses du FIHERENANA et de l'ONILAHY sont de même nature : les profils ne diffèrent que par l'agencement infiniment variable des strates et par la granulométrie de celles-ci. Il n'existe donc pas de profil type.

On observe des profils de textures fines dans les sites abrités du courant, qui favorisent la décantation en eaux calmes. Les textures grossières caractérisent les dépôts au fil du courant. Les textures moyennes, ou les stratifications serrées de textures diverses caractérisent les situations intermédiaires ou changeantes.

Notons que les horizons de textures fines ou moyennes sont rarement profonds de plus d'1 m ; à cette profondeur on retrouve généralement les sables grossiers du lit. Notons également que les alluvions du FIHERENANA sont plus fines que celles de l'ONILAHY.

La répartition de ces types de profils est bien entendu irrégulière et leurs limites avec les sols halomorphes et hydromorphes sur alluvions sont relativement arbitraires.

Exemple RTR 54 - 5

Exemple TUS 16

Exemple RTR 54 - 11

Notons encore l'existence dans les terrasses situées au débouché de quelques thalwegs de la rive nord du FIHERENANA d'alluvions teintées de rouge et qui proviennent sans doute de l'érosion des sols fersiallitiques du plateau.

Profil type : TUS 104

### aptitudes des sols alluviaux hydromorphes

Ces sols constituent la richesse de la plaine de TULEAR et ont fait l'objet à ce titre de plusieurs études agronomiques (I.R.A.M. et I.R.C.T. en particulier). L'interprétation de ces études est rendu difficile par l'infinie diversité des profils prélevés et aussi la diversité des méthodes d'analyses qui leur ont été appliquées. Toutes cependant concluent à un haut degré de fertilité des horizons dont le taux d'éléments fins atteint au moins 40 %.

La seule insuffisance notable apparaît dans le taux de matière organique (moins de 1%) et d'azote total (moins de 1 ‰).

Par contre les teneurs en éléments échangeables sont assez élevées, particulièrement en ce qui concerne l'acide phosphorique (de 0,05 à 0,08 ‰ Truog). Les sels solubles n'atteignent pas un niveau inquiétant et il n'existe d'efflorescences salines en surface que sur quelques taches étroitement localisées.

Les paysans et les services spécialisés connaissent tout le parti qu'ils peuvent tirer de ces sols dont la productivité n'est limitée en dehors du manque d'azote que par l'insuffisance des précipitations auxquelles il faut pallier par l'irrigation

Les eaux limoneuses du FIHERENANA et de l'ONILAHY apportent d'ailleurs un appoint d'éléments chimiques et sont aptes à colmater les profils sableux.

Il est vital de **préserver** cette richesse naturelle contre les divagations des fleuves en crues.

### 53. Sols d'apport salins ou alcalisés

#### a. sur alluvions salées par infiltration

Les profils de ces sols sont de même constitution que les précédents, mais soumis à des infiltrations salines. Celles-ci se manifestent par des efflorescences en surface.

Les conductivités/pate saturée de ces sols restent modestes : de l'ordre de 4 mmhos en profondeur et 10 au niveau des efflorescences.

Profil n° TUS 9

X = 285,7 / Y = 126,3 / Z = 80 m.

A mi-pente de la falaise qui domine Sarodrano.

Végétation : bush à euphorbiacées clairsemé.

Pente occupée à 70 % par des blocs de croute calcaire lapiézée grise, retenus par la végétation.

GR des sols d'érosion

SG des sols lithiques

FM des calcaires durs

faciès brun-calcaire.

- 0 - 10 Horizon sablo-limoneux (ASD) très calcaire, humifère, brun pâle (10 YR 6/3). Structure polyédrique fine à particulaire avec racines et nombreux cailloux anguleux de toutes tailles.
- 10 - 70 Horizon limono-calcaire (ASG) beige (10 YR 7/3), humifère avec gradient progressivement décroissant. Structure polyédrique friable, racines et radicelles, cailloux.
- 70 - 100 Blocs de calcaire organogène et de croutes enrobé de limon calcaire beige. Les racines et radicelles sont toujours présentes.
- 100 Dalle calcaire fissurée au travers de laquelle le profil se prolonge.

Profil n° TUS 306

X = 314,0 / Y = 147,7 / Z = 250 m.

A la limite d'un fourré ligneux sur calcaires et d'une savane sur sables roux.

GR des sols d'érosion

SG des sols lithiques

FM des sols rouges tronqués

faciès brun-calcaire.

- 0 - 10 Horizon organique (3 %), limono-sableux, brun foncé (7,5 YR 5/6). Structure faiblement développée de type polyédrique émoussée à éléments friables. Calcaire (24 %).
- 10 - 20 Horizon moins organique, limono-sableux, brun clair (7,5 YR 6/6), même structure.
- 20 - 40 Horizon limono-calcaire beige (10 YR 5/8), moins organique (1,7 %). Éléments de structure polyédrique, tourmentés, emballés de limon poudreux. Calcaire (49 %).
- 40 - 120 Idem avec de nombreux éléments de roche altérée fermes, anguleux. Calcaire (80 %). On distingue 4 strates de calcaires séparées par des croutes pelliculaires zonées discontinues limitant des strates ou horizons de calcaire altéré où les organismes sont encore identifiables.

## Profil n° TUS 421

X = 310,3 / Y = 147,3 / Z = 220 m.

Dans une friche à couvert graminéen proche d'un village et en très faible pente.

GR des sols d'érosion

SG des sols lithiques

F<sup>10</sup> des calcaires tendres

faciès isohumique.

- 0 - 10 Horizon organique limono-sableux gris-brun sombre (7,5 YR 4/2), calcaire. Structure bien développée de type polyédrique à éléments moyens, fermes, à sous-structure pseudo-grumeleuse. Transition irrégulière distincte.
- 10 - 30 Horizon faiblement organique, limono-sableux brun rouge clair (7,5 YR 5/4-5/6). Calcaire. Pénétration organique par voie biologique. Structure bien développée polyédrique et sous-structure faiblement grumeleuse. Limite diffuse.
- 30 - 60 Horizon limono-calcaire brun clair (7,5 YR 7/6). Structure bien développée de type polyédrique grossier dans un ensemble massif avec apparition de mycelium et granules calcaires. Transition rapide.
- 60 - 100 Horizon brun rouge moyen à l'état frais (5 YR 5/8) avec granules et amas calcaires plus abondants.
- 100 - 220 Passage progressif d'un matériau limono-calcaire brun jaune clair à amas friables à un matériau calcaire jaune avec amas plus durs et tourmentés.

## FICHE ANALYTIQUE

TUS 9

PROFIL : TUS 9

CLASSIFICATION : SOL LITHIQUE F. BRUN-CALCAIRE

	échantillon	91	92	93	94
	profondeur	0-10	20-30	50-70	70-90
granulométrie en %	humidité				
	refus				
	carb. de cal.	69,8	71,1	75,2	81,8
	argile	22,0	19,1	15,8	11,3
	limon fin	21,0	18,2	21,8	22,0
	limon grossier	8,7	9,6	10,0	11,0
	sable fin	15,7	16,5	13,1	15,9
	sable grossier	26,8	31,8	36,0	39,4
Matières organiques en ‰	carbone	40,9	18,4	5,3	3,1
	mat. organique	70,5	31,8	9,1	5,3
	azote	3,2	1,6	0,5	0,4
	C/N	12,3	11,2	10,7	8,5
	acides humiques	21,6	(A. humique gris = 41%, A. humiques bruns = 47%)		
	acides fulviques	19,3			
Acidité	PH eau $\frac{1}{2}/5$	8,0	8,2	8,5	8,5
	PH KCl				

## FICHE ANALYTIQUE

TUS 421

PROFIL : TUS 421

CLASSIFICATION : SOL LITHIQUE F. ISOHUMIQUE

	échantillon	1	2	3	4	5
	profondeur	0-10	10-20	20-30	30-40	50-60
granulométrie en %	humidité					
	refus					
	carb. de cal.	16,6	20,8	27,0	42,7	40,1
	argile	24,2	27,4	30,4	32,4	35,7
	limon fin	20,3	21,1	18,6	19,4	20,4
	limon grossier	6,7	6,3	6,5	7,4	6,7
	sable fin	20,9	18,3	16,0	14,7	15,6
	sable grossier	20,9	20,1	22,8	20,3	17,1
Matières organiques en ‰	carbone	31,2	20,5	16,7	7,2	3,9
	mat. organique	53,7	35,4	28,8	12,4	6,7
	azote	3,05	2,2	1,7	0,95	0,5
	C/N	10	9	9	8	8
	acides humiques					
	acides fulviques					
Acidité	PH eau $\frac{1}{2}/5$	8,3	8,5	8,5	8,6	8,6
	PH KCl					

Profil n° TUS 500

X = 297,5 / Y = 126,8 / Z = 15 m.

Sur glacis à faible pente sous groupement calcicole à *Salvadora*, *Jatropha*, etc...

GR des sols d'érosion

SG des sols régoles

FM sur marnes à huîtres  
faciès isohumiques.

- 0 - 100 Profil érodé à gradients calcaires et organiques contraires, réguliers. Limono-sableux, calcaire, beige pâle passant à olive clair (10 YR 7/3 - 2,5 Y 9/6). Structure bien développée à éléments lamellaires puis nuciformes, puis polyédriques de forme tourmentée à sous-structure granulaire. Induré en parcel, meuble à l'état frais dans la masse.
- 100 - 150 Bancs de marnes à huîtres contenant 1 morceau d'oeuf d'*Aepyornis*.
- 150 - 180 Limon argileux ocre clair avec huîtres et cailloux calcaires.

Profil n° TUS 83

X = 315,9 / Y = 122,8 / Z = 31 m.

Sur un glacis détritique, sous fourré calcicole à Euphorbiacées, *Salvadora*, etc... Le long de la piste MAROMIANDRY-AMPEHA.

GR des sols d'érosion

SG des régosols

FM sur matériaux détritiques calcaires  
faciès isohumique.

- 0 - 20 Horizon limono-sableux calcaire (34 %), faiblement organique (24 ‰) avec gradient décroissant diffus. Brun pâle (7,5 YR 6/4). Structure bien développée polyédrique à éléments friables.
- 20 - 40 Horizon limono-sableux calcaire (44 %) peu organique (12 ‰), brun clair (7,5 YR 6/7). Bien structuré avec des éléments de formes tourmentées, amas et nodules calcaires.
- 40 - 80 Idem calcaire (47 %) brun très clair (7,5 YR 6/8). Éléments grossiers, amas et nodules calcaires de plus en plus nombreux. Ensemble compact résistant aux outils.  
Un thalweg proche montre qu'en dessous se trouve une puissante croute conglomératique à ciment rose.

FICHE ANALYTIQUE

TUS 500

PROFIL : TUS 500

CLASSIFICATION : APPORT DUNAIRE F. ISOHUMIQUE

	échantillon profondeur	1 0-10	2 10-20	3 20-30	4 30-40	5 40-60	6 60-80	7 160-180	
granulométrie en %	humidité								
	refus								
	carb. de cal.	40,8		43,8		47,0	48,1	50,4	
	argile	18,0		22,8		27,5	29,0	27,5	
	limon fin	31,5		25,6		22,4	23,0	19,2	
	limon grossier	8,9		9,0		10,0	10,3	8,3	
	sable fin	20,9		20,7		22,0	17,1	26,3	
sable grossier	11,5		10,6		13,2	12,7	13,2		
Matières organiques en %	carbone	10,4	10,0	8,2	5,8	3,6			
	mat. organique	17,9	17,2	14,1	10,1	6,1			
	azote	11,0	9,0	9,0	6,0	6,0			
	C/N	10	11	9	9				
	acides humiques								
acides fulviques									
Acidité	PH eau $\frac{1}{2}/5$	9,2		9,2		8,9	8,7	9,2	
	PH KCl								
Cations échangeables en mé/100g de sol	Calcium Ca <sup>++</sup>								
	Magnésium Mg <sup>++</sup>								
	Potassium K <sup>+</sup>								
	Sodium Na <sup>+</sup>								
	S								
	T								
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> en ‰	V %								
	Phosph. total								
	Phosph.								
Eléments totaux TRIACIDE en %	Perte au feu								
	Residu								
	Silice SiO <sub>2</sub>								
	Alumine Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
	SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
	Fer Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								
	Titane TiO <sub>2</sub>								
	Manganèse MnO <sub>2</sub>								
	en mé / 100g	Calcium Ca <sup>++</sup>							
		Magnésium Mg <sup>++</sup>							
Potassium K <sup>+</sup>									
Sodium Na <sup>+</sup>									
en %	Fer libre Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								

## Profil n° TUS 605

X = 301,9 / Y = 122,6 / Z = 9 m.

Dune flamandienne à crêtes multiples (Q3) fossilisant les sables roux clairs (Q22) en profondeur. Entre ANDRANOMENA et l'aéroport, sous groupement à Euphorbia stenoclada avec Zygophyllum album.

GR des sols d'apports

SG modal

FM sur sables éoliens  
faciès isohumique.

- 0 - 60 Sable fin à débris de coquilles, gris-beige (10 YR 6/3) avec humus diffus à gradient très régulier (de 7 à 4 ‰, C/N = 7). Légèrement calcaire (de 7 à 10 %). Structure massive particulière, tassée avec racines et radicelles abondantes.
- 60 - 100 Le même, encore humifère (3 ‰) avec léger accroissement du calcaire (13 %) et peu de racines, légèrement plus clair (10 YR 7/3).
- 100 - 200 Le même, peu ou pas humifère avec calcaire plus abondant (17 %) et légèrement plus pâle (10 YR 7/4).
- 200 - 350 Contraste net : apparition d'un sable fin roux-clair (10 YR 6/6 à 7,5 YR 7/8) très peu calcaire (1,5 %), massif à éclats peu consistants frais.
- 350 - 500 Sable beige, calcaire avec léger encroutement dans la nappe.

Profil n° RTR 54-5 (IRAM)\*  
X = 310,5 / Y = 122,7 / Z = 15 m.

GR des sols d'apport  
SG des alluvions hydromorphes  
FM des textures moyennes à grossières

- 0 - 20 Horizon brun-beige, limono-argilo-sableux, sec, structure lamellaire, micas rares.
- 20 - 50 Horizon brun-beige clair, limono-argilo-sableux, peu frais, structure lamellaire, racines encore nombreuses, micas rares.
- 50 - 65 Limono-très-sableux, meuble, frais, structure lamellaire.
- 65 - 80 Horizon brun-beige, limono-très-sableux, quelques veinules d'hydromorphie.
- 80 - 120 Horizon brun marron, limono-très-sableux, cohérent, structure secondaire nuciforme.

Profil n° RTR 54-11 (IRAM)\*  
X = 310,2 / Y = 119,5 / Z = 15 m.

GR des sols d'apport  
SG des alluvions hydromorphes  
FM des textures moyennes à fines

- 0 - 30 Horizon brun noir argileux, frais, cohérent, structure anguleuse, nombreuses racines.
- 30 - 80 Horizon brun jaune, limono-argilo-sableux, humide, cohérent, structure continue.
- 80 - 120 Horizon sableux, brun beige, très humide, meuble, structure particulaire.

---

\* ROCHE et TREYER, 1962.

PROFIL : RTR 54-5

CLASSIFICATION : SOL ALLUVIAL

	échantillon. profondeur	1 20	2 50	3 65	4 80	5 120				
granulométrie en %	humidité									
	refus									
	carb. de cal.	4,1	3,1	3,3	3,5	3,6				
	argile	24,5	24,5	16,0	14,0	14,0				
	limon fin	11,0	5,5	3,0	3,5	3,0				
	limon grossier	5,9	2,4	1,8	4,2	3,1				
	sable fin	35,6	42,8	54,9	57,8	45,6				
sable grossier	14,6	17,4	19,0	16,3	30,8					
Matières organiques en ‰	carbone									
	mat. organique	50,9	53,0	16,9	8,5	5,9				
	azote	0,52	0,40	0,20	0,12	0,12				
	C/N	56	76	49	40	28				
	acides humiques acides fulviques									
Acidité	PH eau $\frac{1}{2}/5$	7,9	8,1	8,2	8,5	8,4				
	PH KCl									
Cations échangeables en mé/100g de sol	Calcium $Ca^{++}$	33,1	28,8	20,3	19,6	14,2				
	Magnésium $Mg^{++}$	4,5	3,5	3,5	4,0	4,0				
	Potassium $K^+$	0,85	0,6	0,4	0,4	0,2				
	Sodium $Na^+$	1,9	1,3	0,9	1,3	0,6				
	S	40,3	34,1	25,4	25,4	19,1				
	T	16,5	12,5	10,0	10,5	9,5				
	V %	-	-	-	-	-				
$P_2O_5$ en ‰	Phosph. total									
	Phosph. Truog	0,20	0,21	0,12	0,06	0,07				
Eléments totaux TRIACIDE en %	Perte au feu									
	Résidu									
	Silice $SiO_2$									
	Alumine $Al_2O_3$									
	$SiO_2/Al_2O_3$									
	Fer $Fe_2O_3$									
	Titane $TiO_2$									
	Manganèse $MnO_2$									
	en mé/100g	Calcium $Ca^{++}$								
		Magnésium $Mg^{++}$								
Potassium $K^+$										
Sodium $Na^+$										
en %	Fer libre $Fe_2O_3$									

FICHE ANALYTIQUE

RTR 54-11

PROFIL : RTR 54-11

CLASSIFICATION : SOL ALLUVIAL

	échantillon	1	2	3	4
	profondeur	0-1	1-30	30-80	80-120
granulométrie en %	humidité				
	refus				
	carb. de cal.	2,6	4,2	3,9	1,5
	argile	60,5	81,5	30,0	8,5
	limon fin	13,5	11,5	7,0	1,0
	limon grossier	5,7	1,5	1,3	0,9
	sable fin	9,7	0,9	54,8	16,1
	sable grossier	1,8	0,2	3,4	72,1
Matières organiques en ‰	carbone				
	mat. organique	55,0	21,2	15,5	5,0
	azote	1,2	1,1	0,4	0,1
	C/N	27	11	25	24
	acides humiques				
	acides fulviques				
Acidité	PH eau 1/5	8,0	8,1	8,2	8,4
	PH KCl				
Cations échangeables en mé/100g de sol	Calcium Ca <sup>++</sup>	45,9	58,6	27,0	9,7
	Magnésium Mg <sup>++</sup>	8,1	7,4	1,5	1,5
	Potassium K <sup>+</sup>	0,9	0,9	0,4	0,1
	Sodium Na <sup>+</sup>	0,05	0,1	0,1	0,1
	S	55,0	67,1	28,9	11,6
	T	38,0	35,5	19,5	8,0
	V %	-	-	-	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> en ‰	Phosph. total				
	Phosph.				
Eléments totaux TRIACIDÉ en %	Perte au feu				
	Résidu				
	Silice SiO <sub>2</sub>				
	Alumine Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				
	SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				
	Fer Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				
	Titane TiO <sub>2</sub>				
en mé / 100g	Manganèse MnO <sub>2</sub>				
	Calcium Ca <sup>++</sup>				
	Magnésium Mg <sup>++</sup>				
	Potassium K <sup>+</sup>				
	Sodium Na <sup>+</sup>				
en %	Fer libre Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				

Profil n° TUS 16

X = 311,5 / Y = 123,0 / Z = 14 m.

GR des sols d'apport

SG des alluvions hydromorphes

FM des textures moyennes à grossières

- 0 - 2 Sable fin limoneux gris-beige fendillé en surface, structure lamellaire en strates différenciées distinctes et moyennes, fermes. Peu ou pas humifère.
- 2 - 10 Limono-argileux brun-gris. Structure cubique ou en plaquettes moyennes bien nettes, fermes.
- 10 - 13 Sable fin et limon, gris-beige et brun-gris. Structure en lamelles très fines, distinctes, friables.
- 13 - 45 Argilo-limoneux brun. Structure prismatique grossière, nette, ferme.
- 45 - 55 Argilo-limoneux et sable fin, stratifié (2 cm).
- 55 - 70 Argilo-limono-sableux, prismatique, moyen, peu distinct, peu ferme à tendance polyédrique.
- 70 - 130 Sable fin beige et limon sableux brun stratifiés à strates variables, distinctes, friables.
- 130 - 150 Sable grossier beige avec minéraux noirs.
- 150 - 155 Sable grossier argileux rougeâtre.

Calcaire sur tout le profil (effervescence à l'acide)  
Enracinement médiocre.

Profil n° TUS 104

X = 317,6 / Y = 135,4 / Z = 48 m.

Terrasse d'AMPASY. Sous culture.

GR des sols d'apport

SG des alluvions hydromorphes

FM des textures moyennes à fines  
faciès rouge

- 0 - 20 Horizon argilo-limoneux ocre-rouge (5 YR 5/3) bariolé de brun et de rouge. Structure cubique très grossière, développée et résistante.
- 20 - 200 Horizon argileux brun (7,5 YR 5/2) à nuances de gley olive contrastant avec l'horizon rouge supérieur. Tend à reprendre une couleur rouge en séchant. Structure prismatique à facettes. Calcaire (18 %).

### III. SOLS CALCOMAGNESIMORPHES

#### SOLS RENDZINIFORMES

##### Rendzines à horizons

##### 23. Sols bruns calcaires

Ces sols sont cités pour mémoire car il n'est pas exclu d'en trouver sur le plateau en quelques sites abrités de l'érosion. Nous n'en avons cependant jamais rencontré car leur développement est contrarié par l'érosion et les profils restent au stade "peu évolué".

### IV. VERTISOLS

#### VERTISOLS TOPO-LITHOMORPHES

##### Vertisols non grumosoliques

##### 22. Sols à caractères vertiques peu accentués

Ces sols sont cités pour mémoire car ils tiennent une grande place sur la carte à 1/1.000.000 de RIQUIER (1968), associés aux sols bruts d'érosion et aux sols à sesquioxides du plateau. Ils sont par ailleurs très bien représentés dans les régions d'ANTSEVA (SOURDAT, 1972) et VINETA (SOURDAT, 1973).

Nous n'en avons vu à TULEAR qu'un seul et médiocre exemple constitué par le fond d'une mare temporaire en forme de doline sur le plateau. Sur 40 cm de profondeur le sol était de couleur grise foncée, argilo-limoneux, doué d'une structure prismatique très développée à faces plus ou moins gauches, à éléments très cohérents et consistants.

## V. SOLS ISOHUMIQUES

SOLS A COMPLEXE SATURE (évoluant sous un climat chaud pendant la saison des pluies)

### Sols bruns sub-arides

#### 91. Sols modaux

a. sur colluvions calcaires (localement salées par infiltrations)

Profil type : TUS 26

Ce sont des sols sablo-limoneux, calcaires (de 20 à 40 %). Le calcaire est partiellement diffus, partiellement en amas et réparti selon un gradient croissant de haut en bas.

La matière organique est répartie régulièrement selon un gradient décroissant. Elle est diffuse et bien humifiée.

La couleur est uniforme dans les tons bruns moyens (7,5 YR 5/4) mais à sec le calcaire confère au profil un aspect poussiéreux et terne caractéristique. La structure est partiellement développée : des éléments polyédriques émoussés de tailles moyennes et d'aspect tourmenté (formes concaves et convexes : en osselets) sont très bien individualisés dans un emballage poudreux particulière. En creusant on provoque un intense dégagement de poussière calcaire fine et on met à nu un réseau arachnéen de radicelles très abondantes.

Ces sols occupent le glacis colluvial qui s'étend en contre-bas de la TABLE en direction d'ANDRANOMEMA, en dehors toutefois de l'influence des marnes à huitres. Le matériau limono-calcaire recouvre les "sables roux" que l'on retrouve parfois au fond des fossés. Ils sont en majorité couverts par un bush calcicole dégradé (groupement à Salvadora angustifolia, Jatropha mahafaliensis, Euphrobes arborescentes ...) peu défriché.

#### 92. Sols brun-rouges sub-arides

a. sur sols fersiallitiques recarbonatés (sables roux dunaires) localement salés par infiltrations

Profil type : TUS 27

Il s'agit de sols sablo-limoneux à sables fins d'origine dunaire, encore meubles malgré l'apport limono-calcaire qui reste limité à des taux modérés (1 à 15 %). Les couleurs sont plus rouges et plus vives que celles du sous-groupe modal ; elles tendent à 5 YR 5/6.

Le profil de "sables roux" homogène et très fragile est consolidé par le calcaire diffus et moucheté par la présence de petits amas blancs friables, bien répartis. La matière organique est bien répartie en profondeur, diffuse et bien humifiée.

Ces sols ont dû être cultivés car ils se maintiennent sous une friche rase à Aerva javanica et Graminées.

aptitudes des sols isohumiques

La recarbonatation des sols ferrugineux tropicaux par des eaux de ruissellement carbonatées issues des plateaux a été invoquée par KILIAN (1966) pour expliquer la formation de sols "brun-rouges steppiques à (forte ou faible) accumulation calcaire" sur le pourtour de la "cuvette d'ANKAZOMANGA" située à 60 km au SE de TULEAR.

On observe ici une toposéquence analogue comportant en haut de pente des sols limoneux et fortement calcaires (modaux) et plus bas des sols sableux et peu calcaires (brun-rouges). Morphologie et composition chimique sont comparables. En bas de pentes on passe insensiblement à des profils légèrement salins ou pourvus d'efflorescences de surfaces, faisant transition avec les sols salés.

Ces sols, étudiés par KILIAN en vue d'une culture d'arachides seraient à ANKAZOMANGA les plus adéquats, compte tenu d'une pluviométrie marginale ; ils sont bien pourvus en tous éléments de fertilités. A TULEAR où les précipitations sont moins abondantes encore on sera très réservé sur leur utilisation en sec. On observe d'ailleurs qu'ils sont actuellement à peu près incultes. Les sols "modaux" devraient être particulièrement secs et asphyxiants en raison de leurs teneurs en limons et en calcaire. Leur mise en valeur serait un pari annuel sur la pluviométrie.

L'irrigation peut permettre d'en tirer un bon parti mais les opérations devraient être conduites avec prudence en raison de deux dangers.

Si la présence de "sables roux" en dessous des horizons steppisés des sols "modaux" est un élément favorable à leur drainage on ne peut savoir jusqu'à quel degré celui-ci sera efficace et empêcherait en cas de stagnations intempestives la formation d'encroutements calcaires de nappe.

Quant aux sols "brun-rouges" ils sont situés en un point topographiquement bas, proche des zones salines voisines et où se déversent temporairement les surplus du réseau d'irrigation. Il faudrait prendre garde à ne pas provoquer d'infiltrations salines ni de remontées.

Profil n° TUS 26

X = 301,3 / Y = 125,2 / Z = 15 m.

Au Sud d'ANDRANOMENIA.

GR des sols bruns sub-arides

SG modal

FM sur colluvions calcaires

- 0 - 2 Horizon sablo-limoneux calcaire, brun-jaune foncé (10 YR 6/4-4/4) humifère. Structure lamellaire sous surface battante.
- 2 - 40 Horizon sablo-limoneux faiblement humifère, calcaire (gradients réguliers inverses), brun à brun clair (7,5 YR 7/4). Structure nuciforme nette, à éléments moyens peu fragiles dans un emballage poudreux avec réseau de racines arachnéennes.
- 40 - 60 Idem, peu humifère.
- 60 - 140 Horizon sablo-limoneux brun-rosé à jaune-rosé (7,5 YR 7/4 - 10 YR 7/4) taché de blanc par le calcaire qui est en partie en amas durcis. Ensemble massif cohérent à éclats polyédriques tourmentés.
- 140 - 180 Sable brun-rouge limoneux à nodules petits, ronds, peu friables et très bien répartis ; ceux-ci semblent se concentrer pour reformer un encroutement vers 250 cm.

Profil n° TUS 27

X = 302,0 / Y = 124,3 / Z = 7 m.

GR des sols bruns sub-arides

SG brun-rouge

FM sur sols fersiallitiques recarbonatés.

- 0 - 20 Horizon de sable fin brun-rouge foncé (5 YR 5/6 - 4/6 h), humifère. Structure nuciforme peu nette, à éléments fragiles dans un ensemble massif.
- 20 - 50 Horizon de sable fin faiblement calcaire et humifère. Structure polyédrique peu nette avec abondant réseau de racines et radicelles.
- 50 - 90 Transition : la concentration du calcaire provoque l'apparition d'amas blancs (5 YR 6/6 à 7,5 7/6).
- 90 - 130 Sable fin calcaire brun-rosé (7,5 YR 7/6) avec nombreux petits amas ou nodules calcaires blancs.
- 130 - 200 Sablo-limoneux brun-rouge clair (7,5 YR 6/6). Les amas calcaires deviennent plus rares et il n'y a plus de racines.
- Entre 200 et 300, un encroutement calcaire de nappe se forme progressivement.

PROFIL : TUS 26

CLASSIFICATION : SOL BRUN SUB-ARIDE

echantillon		1	2	3	4	5
profondeur		0-10	15-25	30-40	50-60	120-140
granulométrie en %	humidité	1,1	1,3	1,1	1,0	1,3
	refus					
	carb. de cal.	20,8	20,8	24,7	27,2	38,4
	argile	8,7	9,2	10,3	12,1	17,8
	limon fin	8,4	10,7	10,8	11,9	12,9
	limon grossier	6,6	7,1	6,4	7,4	7,1
	sable fin	38,4	41,3	40,2	39,4	31,1
	sable grossier	32,5	27,7	28,9	26,8	26,9
Matières organiques en %	carbone					
	mat. organique	18,9	9,5	6,7	5,7	
	azote	1,4	0,6	0,5	0,6	
	C/N	8	10	8	5	
	acides humiques	10,0	(A. humique gris = 52%, A. humique brun = 37%)			
	acides fulviques	8,9				
Acidité	PH eau $\frac{1}{2}/5$	8,5	8,5	8,4	8,5	8,7
	PH KCl					
Cations échangeables en mé/100g de sol	Calcium Ca <sup>++</sup>	27,6	26,1	25,6	27,3	
	Magnésium Mg <sup>++</sup>	3,7	3,2	3,8	3,9	
	Potassium K <sup>+</sup>	0,65	0,6	0,65	0,7	
	Sodium Na <sup>+</sup>	0,03	0,03	0,04	0,08	
	S	42,1	38,4	36,8	38,2	
	T	10,1	8,5	6,7	6,2	
	V %	-	-	-	-	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> en ‰	Phosph. total					
	Phosph.					
Eléments totaux  TRIACIDE en %  en mé/100g  en %	Perte au feu					
	Résidu					
	Silice SiO <sub>2</sub>					
	Alumine Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					
	SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					
	Fer Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					
	Titane TiO <sub>2</sub>					
	Manganèse MnO <sub>2</sub>					
	Calcium Ca <sup>++</sup>					
	Magnésium Mg <sup>++</sup>					
Potassium K <sup>+</sup>						
Sodium Na <sup>+</sup>						
	Fer libre Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					

PROFIL : TUS 27

CLASSIFICATION : SOL BRUN SUB-ARIDE

	échantillon profondeur	1	2	3	4	5	6	7	
granulométrie en %	humidité	1,0	1,0	0,7	0,9	0,8			
	refus								
	carb. de cal.	1,3	3,4	4,4	10,4	15,4	11,9	37,0	
	argile	8,0	8,7	7,0	9,1	9,1	12,9	15,5	
	limon fin	0,6	3,0	1,6	1,4	4,4	3,2	9,7	
	limon grossier	5,2	5,2	5,1	6,0	7,2	7,8	8,8	
	sable fin	53,4	54,3	53,7	51,4	50,7	49,6	43,0	
sable grossier	28,7	29,6	30,8	28,5	25,0	24,5	18,9		
Matières organiques en ‰	carbone	7,06	5,23	2,37	1,30				
	mat. organique	12,2	9,02	4,09	2,24				
	azote	0,7	0,7	0,3	0,2				
	C/N	9,5	7,2	10,0	7,7				
	acides humiques	5,4	(A. humique gris = 57%, A. humique brun = 26%)						
acides fulviques	1,8								
Acidité	PH eau $\frac{1}{2}/5$	8,3	8,4	8,7	8,7	8,7	9,2	9,7	
	PH KCl								
Cations échangeables en mé/100g de sol	Calcium $Ca^{++}$	17,4	16,2	19,6	22,8				
	Magnésium $Mg^{++}$	1,4	0,7	0,7	0,7				
	Potassium $K^+$	0,9	0,7	0,7	0,65				
	Sodium $Na^+$	0,2	0,03	0,03	0,06				
	S	19,9	17,6	21,0	24,2				
	T	7,8	7,0	5,7	5,0				
	V %	-	-	-	-				
$P_2O_5$ en ‰	Phosph. total								
	Phosph.								
Eléments totaux TRIACIDE en %	Perte au feu								
	Résidu								
	Silice $SiO_2$								
	Alumine $Al_2O_3$								
	$SiO_2 / Al_2O_3$								
	Fer $Fe_2O_3$								
	Titane $TiO_2$								
	Manganèse $MnO_2$								
	en mé/100g	Calcium $Ca^{++}$							
		Magnésium $Mg^{++}$							
Potassium $K^+$									
Sodium $Na^+$									
en %		Fer libre $Fe_2O_3$							

## VIII. SOLS A SESQUIOXYDES

### SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX

#### Sols peu ou pas lessivés, rouges

Sols hétérogènes (à caractères variables)

a. sur sables grossiers

Profil type : TUS 610

Ces sols présentent des profils indifférenciés sur des matériaux hétérogènes : hormis la répartition superficielle de la matière organique les variations du profil peuvent être mise au compte d'accident de la sédimentation.

Les textures sont dominées par la présence de sables grossiers et les variations éventuelles du taux d'argile ne peuvent être valablement appréciées.

Les couleurs sont vives, grenat ou rouge (2,5 YR à 10 R 4/4 à 5/8).

La matière organique est en quantités faibles, concentrée au sommet sous litière forestière ou plus diffuse sous tapis graminéen ou bush (jusqu'à 20 ‰).

Le complexe est caractérisé par une très faible capacité d'échange. Il est assez fortement désaturé dans les horizons médians des profils typiques mais il suffit d'un substrat calcaire proche ou d'une litière un peu plus abondante pour provoquer la saturation plus ou moins complète des horizons superficiels ou profonds.

Les profils contiennent souvent des morceaux de grès ferrugineux allochtones, isolés, mais peuvent montrer aussi un concrétionnement apparemment en place.

A la périphérie de la butte sableuse de BEFOLY une forte hydromorphie a dû s'exercer autrefois dans les sables au contact du substrat argileux et une dalle de grès ferrugineux épaisse de 40 à 80 cm s'est constituée : elle est aujourd'hui en voie de démantèlement.

Le rapport silice, alumine ne peut être déterminé valablement que sur la fraction fine du sol : il est très régulièrement voisin de 2,0 avec des variations locales de 1,5 à 2,5.

Ces sols sont localisés sur les sables d'épandage pliocènes et sur les terrasses alluviales anciennes.

#### aptitudes

La texture excessivement grossière de ces sols peut être considérée comme rédhibitoire. A BEFOLY quelques cultures de sisal ne semblent pas avoir réussi.

Le manioc itinérant peut donner une récolte lorsque la pluviométrie se montre favorable mais on constate que le défrichement entraîne rapidement la formation de rigoles profondes et de nappes d'épandage sableux.

Les terrasses alluviales anciennes sont par ailleurs choisies pour l'habitat en raison de leur position dominante et de leur relative stabilité.

## SOLS FERRALLITIQUES

### Sols indifférenciés

Il s'agit de "sols rouges" riches en sesquioxydes de fer sous des formes stables qui ne donnent lieu ni à ségrégations ni à migrations. (Il semble, sous réserve de déterminations qui n'ont pas encore pu être menées à bien, que ces sols contiennent une proportion élevée de fer amorphe pectisé).

La fraction argileuse est composée en majeure partie de kaolinite mais on y rencontre la montmorillonite, des chlorites et de l'illite. La fraction quartzreuse reste assez largement supérieure à 70 %.

Ces sols sont caractérisés par l'homogénéité de texture de couleur et de structure et l'absence d'autres différenciations que celles qui sont dues à la répartition superficielle de matière organique. On n'observe jamais la moindre ségrégation ou migration de fer.

Formés sur matériaux calcaires ou encaissés par des roches calcaires ces sols voient leur complexe d'échange saturé par le calcium mais sont toujours typiquement décarbonatés.

### 61.62.63. Les paléosols

Le caractère de paléosol indiscutable que présentent certaines strates de "sables roux dunaires" fossilisés par les transgressions dunaires ultérieures a été étendu à tous les sables dunaires rubéfiés, par opposition aux sables dunaires calcaires beiges dont l'évolution se poursuit en surface depuis l'époque flandricenne, sans décarbonatation ni rubéfaction.

Ces "sables roux" avaient atteint, sous l'influence des climats plus humides de l'Aépyornien ancien, un degré d'évolution tel (décarbonatation, rubéfaction, évolution des minéraux argileux) que sous l'influence du climat actuel, plus aride donc pédogénétiquement moins efficient, ce degré ne peut plus être dépassé, ni même atteint à partir de nouveaux matériaux bruts.

Ces paléosols sont répartis en trois sous-groupes correspondant à des formations dunaires successives de texture, de couleur et de composition minéralogique différentes.

A partir de dépôts successifs de nature identique - les sables de déflation calcaro-quartzeux beiges - l'influence de climats de moins en moins efficaces s'exerçant durant des périodes de plus en plus brèves a provoqué la genèse de 3 types de "sables roux" correspondant à 3 degrés d'évolution :

les paléosols "roux-rouges" (2,5 YR)  
 les paléosols "roux-foncés" (5 YR)  
 les paléosols "roux-clairs" (7,5 YR)

A l'intérieur de chaque sous-groupe, on distingue 2 familles selon la granulométrie et la morphoscopie des sables :

au sud du FIHERENANA, les sables fins, très éolisés  
 au nord du fleuve, les sables divers, plus ou moins éolisés.

Les matériaux mis en place au nord du FIHERENANA étaient non seulement d'une granulométrie plus étalée que ceux de la rive sud mais aussi moins riches en calcaire à l'origine, la proportion de sables coralliens étant moindre. La décarbonation s'y est exercée plus profondément. Ils sont plus perméables et écologiquement plus secs ; plus bouillants aussi de sorte que la circulation des véhicules y est plus malaisée.

Les profils complets comportent outre l'horizon rubéfié "roux", un horizon intermédiaire jaune et un horizon d'accumulation calcaire se prolongeant par le matériau originel ; ces derniers niveaux peuvent être meubles ou grésifiés ou faire l'objet d'un encroûtement de nappe. Il peut arriver aussi que les profils soient tronqués, que les horizons calcaires aient été remis à nu, encroûtés puis recouverts par une nouvelle déflation. La présence de croûtes calcaires d'évaporation au contact des horizons rubéfiés et des horizons calcaires est fréquente mais elle n'est pas la règle et il semble qu'on puisse toujours l'attribuer à un accident non-pédogénétique : c'est pourquoi nous n'en avons pas tenu compte dans la classification.

Profils types : TUS 476, TUS 479

Il s'agit de profils sableux, décarbonatés et rubéfiés, pauvres en matière organique, sauf après culture du sisal qui laisse un épais tapis de racines intriquées. La structure est massive à éclats quelconques excessivement fragiles et friables. Le calcaire se manifeste en profondeur, d'abord sous forme diffuse ou sous forme d'amas radiciformes au sein d'un horizon intermédiaire, imparfaitement rubéfié et riche en montmorillonite, de couleur jaune. A la suite et sans induration on trouve le matériau originel beige et calcaire, légèrement enrichi au sommet par le calcaire de percolation.

Les éléments de fertilité sont concentrés dans la fraction fine qui est généralement inférieure à 5 %, le reste étant formé de quartz \*. Bien que le complexe soit saturé par le calcium, relativement bien pourvu en potassium et riche en acide phosphorique, la capacité d'échange est inférieure à 10 me/100 g et le niveau de fertilité reste faible.

Le rapport moléculaire silice/alumine malaisément déterminé à cause du taux excessif de quartz est voisin de 2.

#### minéralogie des "sables roux dunaires"

L'étude approfondie de ces sols a été rendu très malaisée par la prépondérance des quartz et la mauvaise dispersion des colloïdes. Une étude diffractométrique (SOURDAT et GENSE, 1969) a cependant pu mettre en lumière les différences de constitutions suivantes, justifiant la distinction de trois sous-groupes d'ancienneté croissante caractérisés par un degré d'évolution croissant :

Paléosol roux clair (Q 22)	476-8	Quantité moyenne de minéraux cristallisés. Kaolinite dominante bien cristallisée. Illite bien cristallisée. Traces incertaines de chlorites.
Paléosols roux foncés (Q 21)		Pour tous : quantités moyennes à faibles de minéraux cristallisés.
	475-8	Kaolinite nettement dominante bien cristallisée. Illite altérée.
	60-4	Kaolinite nettement dominante bien cristallisée. Illite.
	46-3	Kaolinite dominante. Illite.
	479-6	Kaolinite dominante. Traces d'illite altérée. Faible quantité de Chlorite.
Paléosols roux rouges (Q 1)	43-4	Faible quantité de minéraux cristallisés. Kaolinite.
	479-10	Aucun minéral cristallisé n'apparaît.

\* L'analyse mécanique est entachée d'erreur et le recueil des fractions granulométrique malaisé en raison de la mauvaise dispersion obtenu par voie chimique : les sables recueillis restent roux. La dispersion ultra-sonore seule permettrait une analyse mécanique satisfaisante.

Deux échantillons de sables fins beiges, représentent le matériau originel commun à toutes les formations dunaires.

Horizon d'accumulation calcaire d'un paléosol roux foncé (Q 21) 479.7	Grande quantité de minéraux cristallisés. Illite nettement dominante et très bien cristallisée. Kaolinite très bien cristallisée. Traces de chlorites légèrement gonflantes.
Horizon d'accumulation calcaire d'un paléosol roux clair (Q 22) 476.8	Grande quantité de minéraux cristallisés. Illite dominante très bien cristallisée. Kaolinite très bien cristallisée. Montmorillonite en petite quantité.

Des paléosols les moins évolués aux plus évolués on observe donc l'élimination précoce de la montmorillonite et des chlorites, puis la disparition de l'illite, de moins en moins bien cristallisée et la prédominance de la kaolinite puis en fin l'absence de tous minéraux cristallisés \*.

aptitudes des paléosols (sables roux dunaires)

Nous avons indiqué que, sans être absolument dépourvus d'éléments de fertilité ces sols étaient doués de textures apparemment rédhibitoires. Leur mise en culture repose donc entièrement sur les perspectives d'irrigation et de colmatage. L'expérience prouve que la submersion massive et prolongée par les eaux limonneuses du FIHERENANA abandonne un résidu important qui s'incorpore progressivement aux sables en leur conférant non seulement du corps mais un appoint de fertilité.

Le défrichement reste néanmoins un cap difficile à franchir car les sables sous bush sont après défrichement exposés à la reprise de l'éolisation, très pauvres en humus et incohérents. Les sables sous anciennes sisaleraies sont au contraire maintenus par un épais tapis de racines mais celles-ci se décomposent mal et leur élimination ou leur résorbition sont malaisément obtenues.

\* Ceci est une constatation dont nous ne pouvons pas encore proposer une explication satisfaisante.

## 64. Sols fersiallitiques anthropiques

### a. sur sables colmatés par irrigation

Les profils conventionnellement classés sous ce nom sont très variés selon que le colmatage a été massif ou non, prolongé ou non. Il semble que le colmatage ne se manifeste qu'assez lentement au cours des premières années pour s'accélérer par la suite. Dans les premiers temps on n'observe qu'une pellicule limoneuse déposée à la surface des "sables roux" et non incorporée. Par la suite un horizon limono-sableux s'approfondit et à la limite on substitue un profil alluvial au profil fersiallitique.

Les sols colmatés s'observent dans certaines parcelles du réseau d'irrigation le plus ancien et on peut dire que les sols ont radicalement changé de nature. On en observe en quelques points bas où les eaux se rassemblent en cas de pluies violentes, rupture de canalisation, décharge accidentelle du réseau... Les résultats les plus remarquables ont été obtenus à l'extrémité du canal de la TABLE où quelques paysans bénéficient sans frais des eaux excédentaires. A la suite de quelques années d'inondations massives les sables sont colmatés sur plusieurs décimètres et capables de porter de belles récoltes des plantes vivrières traditionnelles.

Les effets du colmatage sont résumés dans le tableau suivant :

ELEMENTS DE FERTILITE DES SABLES ROUX COLMATES d'après ROCHE et TREYER (IRAM), 1962				
	NON COLMATES		COLMATES	
	de 0 à 30 cm	de 30 à 60 cm	0 à 30 cm	30 à 60 cm
A + L	3 - 13 %	5 - 9 %	18 - 35 %	6 - 8 %
C	5 - 15 ‰	4 - 8 ‰	8 - 18 ‰	3 - 15 ‰
N	0,3 - 0,8 "	0,16 - 0,4 "	0,4 - 0,9 "	0,2 - 0,4 "
P205 ass.	0,06 - 0,2 "	0,02 - 0,08 "	0,07 - 0,15 "	0,02 - 0,05 "
CaO	1,0 - 4,2 "	0,9 - 3,2 "	2,3 - 5,2 "	0,8 - 1,0 "
MgO	0,3 - 0,9 "	0,4 - 0,7 "	0,5 - 1,2 "	0,3 - 0,8 "
K2O	0,06 - 0,2 "	0,03 - 0,1 "	0,1 - 0,5 "	0,07 - 0,12 "
Na2O	-	-	0,66 - 0,2 "	0,04 - 0,08 "
C.E.	5 - 15 me	3 - 7 me	8 - 17 me	3 - 10 me
pH	6,9 - 8	7,3 - 8,5	7,8 - 8,1	7,6 - 8,3

## 65. Sols fersiallitiques polygéniques

### a. sur matériaux complexes du karst

Profil type : TUS 621

Il s'agit de sols rouges, sablo-argileux, très peu différenciés ; la matière organique est peu abondante et diffuse ; le contact avec les calcaires lités sous-jacents se fait par l'intermédiaire d'horizons limono-calcaires peu épais, au sein desquels se dissolvent lentement des pseudogalets résiduels de calcaire organogène très pur (99 % de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ).

Dans les limites de la carte, ce type de profil est rarement assez profond pour permettre une désaturation poussée du complexe. La saturation est totale en surface et en profondeur ; elle peut s'abaisser à 70 % à mi-profondeur\*.

Le rapport moléculaire silice/alumine est toujours très voisin de 2.

Ce type de profil est lié au milieu karstique. Selon la situation topographique on peut trouver des profils profonds (exceptionnellement jusqu'à 4 m) et des profils érodés réduits à 40 cm de sol meuble. La moyenne est de 1 m. A la limite du rajeunissement par érosion le profil prend une morphologie de sol calcimorphe. Ils résultent d'un approfondissement du karst par altération du calcaire sous une couverture meuble allochtone. Ce point de vue est confirmé par l'étude granulométrique des profils.

Dans le profil 621 par exemple, on constate que le faciès granulométrique des sables des horizons supérieurs est en "S" (bimodal) et contraste nettement avec le faciès linéaire des horizons profonds. Les indices de Krumbein sont respectivement de 0,55 et de 1,0. Les horizons supérieurs sont donc granulométriquement analogues aux sables d'épandage pliocènes et particulièrement à ceux de la butte de BEFOLY toute proche, tandis que les horizons inférieurs représentent le résidu d'altération des calcaires.

Ces sols existent en place sur quelques petits éléments de plateau conservés au centre de l'interfluve ONILAHY-FIHERENANA. Les mêmes matériaux rouges se trouvent sous forme de colluvions dans les thalwegs et les couloirs de faille.

---

\* A VINETA (SOURDAT, 1973) des sols analogues voient leur saturation tomber à 20 % les profils étant profonds de plus de 6 m.

### aptitudes

Ces sols semblent doués de bonnes propriétés physiques et sont faciles à travailler mais vulnérables à l'érosion. Leur fertilité est limitée par le faible taux d'éléments fins (moins de 20 %) et par la très faible capacité d'échange (environ 5 me/100 gr). Le taux d'azote total (supérieur à 0,5 ‰) est satisfaisant compte tenu d'un pH légèrement alcalin (entre 7 et 8). Le complexe est saturé à peu près totalement par le calcium ; le taux de potassium échangeable bien que non négligeable (0,15 me/100 gr) paraît faible en regard du taux de calcium. Par analogie avec les sols semblables étudiés à VINEFA on peut présumer que le taux de phosphore total est assez faible et que le taux de phosphore assimilable est insuffisant.

Il y aurait donc lieu d'apporter une forte fumure à ces sols si les espérances de pluie justifiaient un investissement.

Ces sols constituent néanmoins la meilleure ressource en terre arable à la surface du plateau et ils ont été précocement défrichés. Seuls les sols plus ou moins colluvionnés des thalwegs sont régulièrement cultivés car ils bénéficient d'une relative concentration d'eau. Manioc et maïs viennent bien mais le cotonnier, récemment implanté à ANOHINALY paraît condamné faute d'eau et de fumure. On ne voit pas dans l'immédiat comment faire mieux ; il s'agit au demeurant de surfaces restreintes.

Profil n° TUS 610

X = 307,5 / Y + 144,5 / Z = 250 m.

SG des sols ferrugineux tropicaux

GR des sols peu ou pas lessivés

SG à profils hétérogènes

sur sables grossiers

- 0 - 30 Horizon sableux grossier humifère, gris-brun terne (5 YR 5/4).  
Structure massive à éclats quelconques, peu cohérents et fragiles.
- 30 - 600 Horizons très peu différenciés, sableux, rouge pourpre (humide)  
(10 R 4/6) ou clair (sec) (10 R 5/6). Structure massive à éclats  
friables. Les quartz sont parfaitement enrobés de colloïdes et  
on n'aperçoit pas de minéraux primaires.

PROFIL : TUS 610

CLASSIFICATION : SOL FERRUGINEUX TROPICAL

	échantillon profondeur	1 0-20	2 40-60	3 100-110	4 160-180	5 260-280	6 360-380	7 460-480	8 560-580
granulométrie en %	humidité	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3			
	refus								
	carb. de cal.		0,0	0,0		0,0		0,0	
	argile	6,5	6,4	6,5	4,5	5,7	6,1	4,4	8,2
	limon fin	4,3	4,0	3,9	4,8	4,7	3,4	3,9	2,8
	limon grossier	2,0	2,1	1,9	2,6	2,2	2,0	8,5	7,5
	sable fin	30,0	29,5	28,0	29,0	31,3	30,0	20,7	43,0
	sable grossier	59,0	58,0	60,0	59,0	56,0	57,5	71	45,0
Matières organiques en ‰	carbone	3,43	1,44						
	mat. organique	5,9	2,5						
	azote	0,46	0,28						
	C/N	7,5	5,2						
	acides humiques acides fulviques								
Acidité	PH eau $\frac{1}{2}/5$	7,55	7,2	6,95	6,5	6,25	6,2	5,95	5,8
	PH KCl								
Cations échangeables en mé/100g de sol	Calcium Ca <sup>++</sup>	1,13	0,45	0,38	0,26	0,41	0,41	0,24	0,25
	Magnésium Mg <sup>++</sup>	0,24	0,18	0,12	0,06	0,11	0,00	0,06	0,10
	Potassium K <sup>+</sup>	0,15	0,05	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
	Sodium Na <sup>+</sup>	0,01	0,03	0,01	trace	0,01	0,01	0,01	0,03
	S	1,53	0,71	0,52	0,35	0,55	0,44	0,33	0,40
	T	2,47	1,85	1,37	1,27	1,37	1,44	1,16	1,32
	V %	61	38	38	27	40	30	28	30
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> en ‰	Phosph. total								
	Phosph.								
Eléments totaux TRIACIDE en % fraction : A+L	Perte au feu		10,4	10,5	10,4	10,8	10,6	11,8	11,6
	Résidu		6,35	6,0	6,5	5,5	7,1	6,7	5,2
	Silice SiO <sub>2</sub>		29,4	29,0	29,7	30,8	27,3	27,9	29,3
	Alumine Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		23,7	24,7	27,8	26,1	21,5	24,5	24,3
	SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		2,1	2,0	1,8	2,0	2,1	1,9	2,0
	Fer Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		22,65	22,6	23,1	23,9	23,3	30,0	29,1
	Titane TiO <sub>2</sub>		1,3	1,5	1,2	1,2	1,2	1,0	0,6
	Manganèse MnO <sub>2</sub>	Total	93,8	94,3	98,8	98,4	91	102	100
en mé/100g	Calcium Ca <sup>++</sup>								
	Magnésium Mg <sup>++</sup>								
	Potassium K <sup>+</sup>								
	Sodium Na <sup>+</sup>								
en %	Fer libre Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		3,0	2,9	2,8	3,1	3,1	2,9	3,7

Profil n° TUS 476

X = 303,8 / Y = 123,4 / Z = 18 m.

Exemple de stratification de deux paléosols (roux-clair/roux foncé).  
Sous bush à Didiéracées.

- 0 - 40 Sable fin faiblement humifère brun-gris, non calcaire. Humus diffus. Structure très peu développée, éclats fragiles.
- 40 - 160 Sable fin roux clair (7,5 YR 6/6), non calcaire avec bonne pénétration des racines et quelques traces organiques localisées. Massif à éclats fragiles.
- 160 - 180 Transition diffuse : apparition de calcaire avec couleur brun pâle.
- 180 - 220 Apparition progressive sans aucune induration superficielle d'un sable fin, calcaire (25 %), beige (7,5 YR 8/2), massif, consolidé avec quelques amas plus durs.
- 220 - 270 On repasse progressivement par diminution de la teneur en calcaire à un sable fin éolien jaune (10 YR 8/3), calcaire (12 %).
- 270 - 700 Successions d'encroutements plus ou moins friables dans les sables beiges calcaires.
- 700 - 750 Croute zonée résistante et encroutement.
- 750 - 880 Sable roux foncé imprégné de calcaire (1,5 %). Couleur intense à l'état humide, virant au beige-rose à l'état sec.
- 880 - 900 Boue calcaire (40 %) blanche.

Profil n° TUS 479

X = 304,0 / Y = 124,5 / Z = 20 m.

Exemple de stratification de deux paléosols (roux foncé/roux-rouge).  
Sous bush à Didiéracées.

- 0 - 300 Sable fin roux-foncé (5 YR 5/8), non calcaire, avec matière organique bien répartie (de 0 à 60 cm environ). Indifférencié, massif, particulaire, meuble à éclats fragiles.
- 300 - 400 Transition nette sans induration : sable beige, calcaire (14 %) avec enrichissement par percolation au sommet (20 %). Massif particulaire.
- 400 - 610 Transition nette sans induration : sable moyen roux-rouge (2,5 YR 5/8), d'abord calcaire au contact de l'horizon supérieur (14 %) puis peu à très peu calcaire (de 4% à 1%). La couleur n'est vive qu'à l'état humide car à l'état sec le sable est enrichi par le calcaire.
- 610 - 700 La couleur passe progressivement de roux-rouge à brun-ocre (5 YR 6/6) ; le calcaire se concentre en petits amas.
- 700 - 900 Sable fin moyen, beige, calcaire (30 %) avec encroutements de nappe successifs.



PROFIL : TUS 479

CLASSIFICATION : PALEOSOL ROUX-FONCÉ

échantillon		1	2	3	4	5	6	7	8
profondeur		0-10	20-30	45-55	360-380	400-420	460-480	560-580	640-680
granulométrie en %	humidité		0,3	0,3					
	refus								
	carb. de cal.			0,0	14,2	14,6	4,4	1,0	1,2
	argile		4,6	5,0				2,1	2,2
	limon fin		0,0	0,0				0,8	0,9
	limon grossier		1,4	1,3				2,6	2,1
	sable fin		64,4	68,6				41,6	42,6
	sable grossier		27,2	25,2				51,0	49,3
Matières organiques en ‰	carbone								
	mat. organique	5,7	3,5	1,7					
	azote	0,4	0,3	0,2					
	C/N	9	8	5					
	acides humiques acides fulviques								
Acidité	PH eau 1/2/5	8,4	8,0	8,2	9,4	9,1	9,5	9,4	9,4
	PH KCl								
Cations échangeables en mé/100g de sol	Calcium Ca <sup>++</sup>	3,12	2,60	1,80				9,09	8,06
	Magnésium Mg <sup>++</sup>	0,44	0,44	0,43				1,50	1,29
	Potassium K <sup>+</sup>	0,17	0,17	0,19				0,56	0,56
	Sodium Na <sup>+</sup>	0,06	0,04	0,04				0,20	0,21
	S	3,8	3,2	2,5				11,35	10,12
	T	4,6	4,0	3,5				3,45	3,97
	V %	83	80	71					
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> en ‰	Phosph. total								
	Phosph.								
Eléments totaux TRIACIDE en % fraction A + I en mé/100g en %	Perte au feu		9,44						
	Résidu		26,52						
	Silice SiO <sub>2</sub>		25,92						
	Alumine Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		17,66						
	SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		2,5						
	Fer Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		14,90						
	Titane TiO <sub>2</sub>		1,2						
	Manganèse MnO <sub>2</sub>								
	Total		95,64						
		Calcium Ca <sup>++</sup>							
	Magnésium Mg <sup>++</sup>								
	Potassium K <sup>+</sup>								
	Sodium Na <sup>+</sup>								
	Fer libre Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>								

Profil n° TUS 621

X = 317,9 / Y = 152,0 / Z = 340 m.

Sous savane arborée à Heteropogon contortus, Gymnosporia polyacantha, Poupartia caffra, Dicoma incana, Tamarindus indica, Flacourtia ramontchi, etc... Toutes les petites éminences du plateau sont couvertes de croutes calcaires.

SC des sols fersiallitiquesGR indifférenciéSG polygénique

- 0 - 5 Horizon sablo-argileux brun-rouge foncé (5 YR 4/4), humifère, structure massive à tendance lamellaire, très compacte.
- 5 - 30 Horizon sablo-argileux brun-rouge (5 YR 4/4) peu humifère, structure massive à éclats cohérents.
- 30 - 130 Horizon sablo-argileux rouge (2,5 YR 4/8 à 10 R 4/8) à éclat métallique violacé devenant ocre par écrasement entre les doigts. Profil parfaitement homogène formé de grains de quartz bien enveloppés de colloïdes. Structure massive à éclats cohérents friables, ne présentant aucune induration de paroi. Non calcaire.
- 130 - 140 Horizon de transition, rouge foncé contenant des amas granulaires de calcaire.
- 140 - 190 Horizon de contact sol-roche dans lequel se différencient, à partir de bancs de calcaire :
- des pseudo galets de calcaire organogène qui se fragmentent par écailles et se délitent par places en amas poudreux blancs ;
  - un matériau sablo-limoneux calcaire de couleur saumon (2,5 YR 8/4) ;
  - des pénétrations digitées de sol rouge non calcaire présentant des variations discontinues de couleur (rouge foncé - rouge brun clair - brun pâle).



## X. SOLS HALOMORPHES

### SOLS A STRUCTURE NON DEGRADÉE

#### Sols salins

##### 11. Sols à encroûtement salin

###### a. sur dépôts fluviomarins varvés localement couverts par voile éolien et nebkas

Ces sols constituent les zones d'évaporites. Ils sont nus ; la végétation halophile pionnière ne colonise que les voiles éoliens discontinus et les nebkas. Sous une mince croûte saline rigide, on observe de fines strates de dépôts alternativement sableux ou limono-argileux, jaunes ou bruns et des lits de cristaux de sels, gypse en particulier. Certaines strates contiennent des sulfures et sont de couleur noire.

La description et l'analyse de ces sols n'auraient de sens que dans une étude spécialisée comportant des prélèvements à l'échelle millimétrique et nous ne l'avons pas entreprise. Ces zones d'évaporites sont soumises aux marées et ne semblent présenter d'autre aptitude que l'installation de marais salants.

###### b. sur sables

Profil type : TUS 22

Ces sols sont développés sur des "sables roux dunaires" soumis à de fortes remontées salines. Ils comportent à la fois une croûte saline de chlorure de sodium et une croûte calcaire.

Ces sols occupent le pourtour des marécages sub-littoraux proches de l'aéroport et forment également le pourtour de mares salines formées dans des sillons interdunaires (au nord de BELALANDA) ou barrées par la dune flandrienne (à ANDRANOMENA). La concentration saline superficielle semble redhibitoire pour toutes cultures.

##### 12. Sols à horizons superficiels friables

###### a. sur sables grossiers

La concentration saline de surface s'exprime dans ces sols par des efflorescences qui disloquent les éléments structuraux et donnent à la surface un aspect poudreux caractéristiques.

Au dessous se trouvent des profils alluviaux stratifiés à dominance de sables avec quelques strates de limons micacés.

La conductivité d'échantillons prélevés en saison sèche était de 11 mmhos/cm en surface et 4 en profondeur (100 - 200 cm). La salinité est sans doute extrêmement variable d'un point à un autre, selon les saisons, la météorologie, les marées, etc ... et ne pourrait être quantifiée que par des mesures de détail conduites tout au long de l'année.

Ces sols occupent les bras morts du FIHERENAIIA et peuvent être inondés lors des crues. Les infiltrations salines par l'aval ne semblent pas pouvoir être limitées. La texture sableuse grossière est peu propice aux cultures : il n'y a donc apparemment rien à attendre de ces sols.

### Sols salés à alcalis

#### 22. Peu ou moyennement salés à alcalis

##### a. sur alluvions fines

Profil type : 2 (GRAFFIN)

##### b. sur alluvions moyennes

Profil type : 4 (GRAFFIN)

Ces sols sont formés sur des alluvions récentes, calcaires, d'origine fluviatile ou fluviomarine qui ont été soumises - ou sont encore soumises - à l'influence d'une nappe salée communiquant plus ou moins avec la nappe marine. On peut rencontrer une grande diversité de profils. Toutes les combinaisons stratigraphiques d'alluvions argileuses, limoneuses ou sableuses sont possibles. Les influences contraires de la nappe salée et de la nappe douce se font plus ou moins sentir en fonction de la saturation, de la topographie et des cheminements préférentiels, superficiels ou souterrains des eaux.

Une étude de détail conduite par GRAFFIN (1964) montre que les sols, peu à fortement alcalisés, peu à fortement salés, sont étroitement associés et difficilement séparables.

Ces sols sont pauvres en azote, riches en potassium et phosphore assimilables mais leur fertilité est limitée par la salure et l'alcalisation.

L'alcalisation affecte la perméabilité des strates argileuses. La salinité est toxique pour les végétaux non adaptés.

La récupération de ces sols ne peut se faire qu'au prix de techniques spécialisées et après expérimentation.

## Profil n° TUS 22

X = 300,4 / Y = 123,5 / Z = 2 m.

GR des sols salinsSG à encroutements salinsFM sur sables

- 0 - 2 En surface, on observe soit des touffes de joncs formant tourradons soit des strates de sable tassé, soit une croûte saline mince, rigide, fragile, translucide.
- 2 - 3 Horizon sablo-limoneux calcaire brun foncé avec petites taches noires. Structure en plaquettes très nettes, petites, dures, subanguleuses formant croûte.
- 3 - 15 Sable fin brun foncé massif à sous-structure polyédrique avec de nombreuses radicelles.  
Au-delà sables roux-clair baignant dans la nappe saumâtre et comportant sous la nappe quelques taches grises indurées. Les déblais durcissent en séchant et sont cimentés par le calcaire.

	Numéro	1	2	3
	Profondeur	0-2	2-3	3-15
Sels Solubles extrait de pâte saturée en mé/kg	Conductivité (mmho/cm)	82	31	9
	Chlorures	204	76	20
	Sulfates	56	5	1
	Carbonates	105	4	0,1
	Calcium	0,5	0,4	1,3
	Magnésium	0,3	0,3	0,4
	Potassium	36	13	3
	Sodium	347	82	23
	pH eau 1/2,5	9,9	9,9	9,6
	Co <sub>3</sub> Ca %	6	17	4,5

Profil n° GR 2 (GRAFFIN)

X = 307,0 / Y = 116,5 / Z = 5 m.

Sur une légère éminence en bordure du chenal.

Sous cressa cretica, Arthrocnemum, Paspalum vaginatum.

Surface finement craquelée formée de plaquettes jointives.

GR sols salés à alcalis

SG moyennement salés à alcalis

FM sur alluvions fines.

- 0 - 0,4 Argileux, brun, sec, plaquettes recouvertes d'une mince pellicule verdâtre tachetée de blanc (Cyanophycées), cohérente mais friable au doigt.
- 0,4- 4 Argileux, brun, tacheté blanchâtre, frais, polyédrique moyen. Disposition lamellaire, pseudo-mycelium bien développé.
- 13 - 30 Argileux, brun foncé, frais, polyédrique (collant), faces brillantes, pseudo-mycelium faiblement développé.
- 30 - 60 Argileux, brun foncé, humide, compact à collant, teinte bleu-gris à la base, taches noirâtres dégageant faiblement SH2 par action de ClH.
- 60 - 70 Horizon de transition argilo-limono-sableux, brun-beige, humide, fortement tacheté par hydromorphie.
- 70 Sablo-limono-argileux avec sable fin micacé, très humide, nombreuses taches d'hydromorphie bien individualisées.
- Nappe à 105 - Calcaire sur tout le profil.

Profil n° GR 4 (GRAFFIN) (même emplacement)

Dans une légère dépression, sans végétation.

En surface, efflorescences blanches brillantes.

GR sols salés à alcalis

SG fortement salé à alcalis

FM sur alluvions moyennes

- 0 - 1 Lamelle blanchâtre, efflorescence saline, brillante, localement ternie par de fines poussières.
- 1 - 10 Argilo-limono-sableux, brun, humide, squameux, légèrement gras, quelques taches rouilles mais faiblement développées.
- 10 - 16 Argilo-sablo-limoneux, brun clair, humide, compact, secondairement polyédrique à nuciforme.
- 16 - 22 Horizon de transition brun clair humide, tendance particulaire, faiblement cohérent.
- 22 - 60 Sablo-limono-argileux, beige humide, particulaire, faiblement cohérent. Sable fin micacé, alternance de lits clairs et sombres, ces derniers contenant des minéraux lourds, taches d'hydromorphie bien développées mais peu nombreuses.
- 60 Idem contenant des poches de sables très grossiers.
- 140 Nappe.

FICHE ANALYTIQUE

2 et 4 GR

PROFIL : 2 et 4 GR

CLASSIFICATION : SOLS HALOMORPHES

	échantillon	21	22	23	24	41	42	43
	profondeur	4-13	40-50	60-70	80-90	0-1-10	25-35	65-70
granulométrie en %	humidité							
	refus							
	carb. de cal.	5,4	8,8	5,4	4,4	8,0	5,8	4,4
	argile	53,6	60,0	24,4	13,2	16,9	6,8	10,8
	limon fin	20,4	17,8	12,8	4,4	27,9	6,0	4,5
	limon grossier							
sable fin	23,8	20,3	60,6	67,2	51,5	82,2	68,3	
sable grossier	0,2	0,2	1,0	14,7	2,0	4,0	14,7	
Matières organiques en %	carbone	7,0	5,6	3,3	1,1	2,7	0,6	0,25
	mat. organique	11,9	9,5	5,7	1,8	4,7	1,0	0,4
	azote	0,82	0,40	0,22	0,10	0,21	0,07	0,03
	C/N	8,6	13,7	15,3	10,8	13,2	8,5	8,4
	acides humiques	0,5	0,3	0,5	0,4	0,3	0,3	0,1
	acides fulviques	2,0	0,5	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1
Acidité	PH eau 1/5	8,2	8,8	9,1	9,3	8,8	9,6	9,5
	PH KCl							
Cations échangeables en mé/100g de sol	Calcium Ca <sup>++</sup>	36,9	23,6	17,6	15,2	41,0	14,8	7,0
	Magnésium Mg <sup>++</sup>	6,9	10,0	5,8	3,0	6,8	2,8	2,2
	Potassium K <sup>+</sup>	1,2	1,7	1,4	0,7	1,7	0,9	0,3
	Sodium Na <sup>+</sup>	10,0	26,9	16,1	9,8	15,3	8,0	3,5
	S	55,0	62,2	40,9	28,7	64,8	26,5	13,6
	T	37,4	47,1	30,2	14,3	29,3	18,1	12,3
	V. %	-	-	-	-	-	-	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> en %	Phosph. total							
	Phosph. Truog	0,16	0,06	0,24	0,19	0,13	0,11	0,11
Sels solubles extrait de pâte saturée en mé/kg	Cond. (mho/cm)	15,5	15,7	12,5	12,3	56,8	17,7	16,1
	Chlorures	132	152	122	121	152,8	224,0	211,0
	Sulfates	85,6	74,9	53,5	44,9	73,5	33,8	17,1
	Carbonates	-	-	-	-	-	-	-
	Bicarbonates	2,2	3,1	4,6	3,2	2,9	1,9	1,0
en mé/100g	Calcium Ca <sup>++</sup>	21,0	8,5	7,0	8,0	62,0	30,0	27,0
	Magnésium Mg <sup>++</sup>	18,0	9,2	5,5	8,0	80,0	9,0	33,0
	Potassium K <sup>+</sup>	1,0	1,5	0,5	1,0	7,4	2,8	1,8
	Sodium Na <sup>+</sup>	82,6	206,9	66,5	56,5	1460	222	167
	en %	Fer libre Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>						

HYDRO  
 XI. SOLS HALOMORPHES

SOLS MOYENNEMENT ORGANIQUES

Sols humiques à gley

21. Sols humiques à gley salés

a. sur matériaux fins, organiques et fluides

Dans les marécages à Typha, sous une épaisse litière formée de Typha, on rencontre 50 cm environ de vase organique fluide à couleurs de gley. Entre 50 et 200 cm la sonde enfonce dans un milieu tout à fait fluide et remonte vide. La conductivité dans l'horizon supérieur est de 6,2 mmhos/cm.

Ces sols n'ont aucune aptitude agricole sinon dans une perspective de poldérisation coûteuse que rien ne justifierait.

SOLS MINÉRAUX

Sols à gley

31. Sols à gley d'ensemble

a. sur argiles fluviatiles

Il s'agit de dépôts d'argiles par décantation. Les horizons argileux sont plus ou moins profonds au-dessus des strates sableuses sous-jacentes mais peuvent atteindre 2 mètres. En plusieurs endroits ces sols sont inondés de façon plus ou moins permanente. A sec, la surface est craquelée, en forme de prismes argileux plastiques ou durcis, bruns en surface, puis gris. En profondeur le profil reste généralement humide et plastique, gris plus ou moins taché.

Ces sols sont consacrés traditionnellement à la culture de pois du cap en décrue ou à la riziculture.

32. Sols à gley salés

a. sur argiles fluviomarines ou marines

Profil type : TUS 448

Ce type de sol n'occupe dans la région de TULEAR que des surfaces restreintes. Ils sont peu épais et sujets à déplacements selon que les facteurs d'envasement ou de dévasement sont prédominants.

On ne peut en envisager aucune utilisation.

Profil n° TUS 448

Observation à marée basse d'une banquette argileuse colonisée par la mangrove en face de TSINGORITELO. Les palétuviers sont irrégulièrement répartis et d'aspect crevard. Les banquettes constituent une plate-forme égale, disséquée par des chenaux de marée.

Surface en micromamellons, criblés de gîtes de crabes et autres animaux, revêtue d'une pellicule d'algues vertes mêlées d'argile, de couleur olive.

GR des sols à gley

SG à gley salé

FM des argiles marines

- 0 - 45 Argile mêlée de sables grossiers et de débris coquilliers fins. Couleur brune ou marron avec taches olives. Les galeries de faune sont très développées et structurent le profil.
- 45 Argile grise - gley et niveau de l'eau.
- 80 Strate de sables à gros débris coquilliers. Arrêt du sondage sur un horizon dur.

FICHE ANALYTIQUE

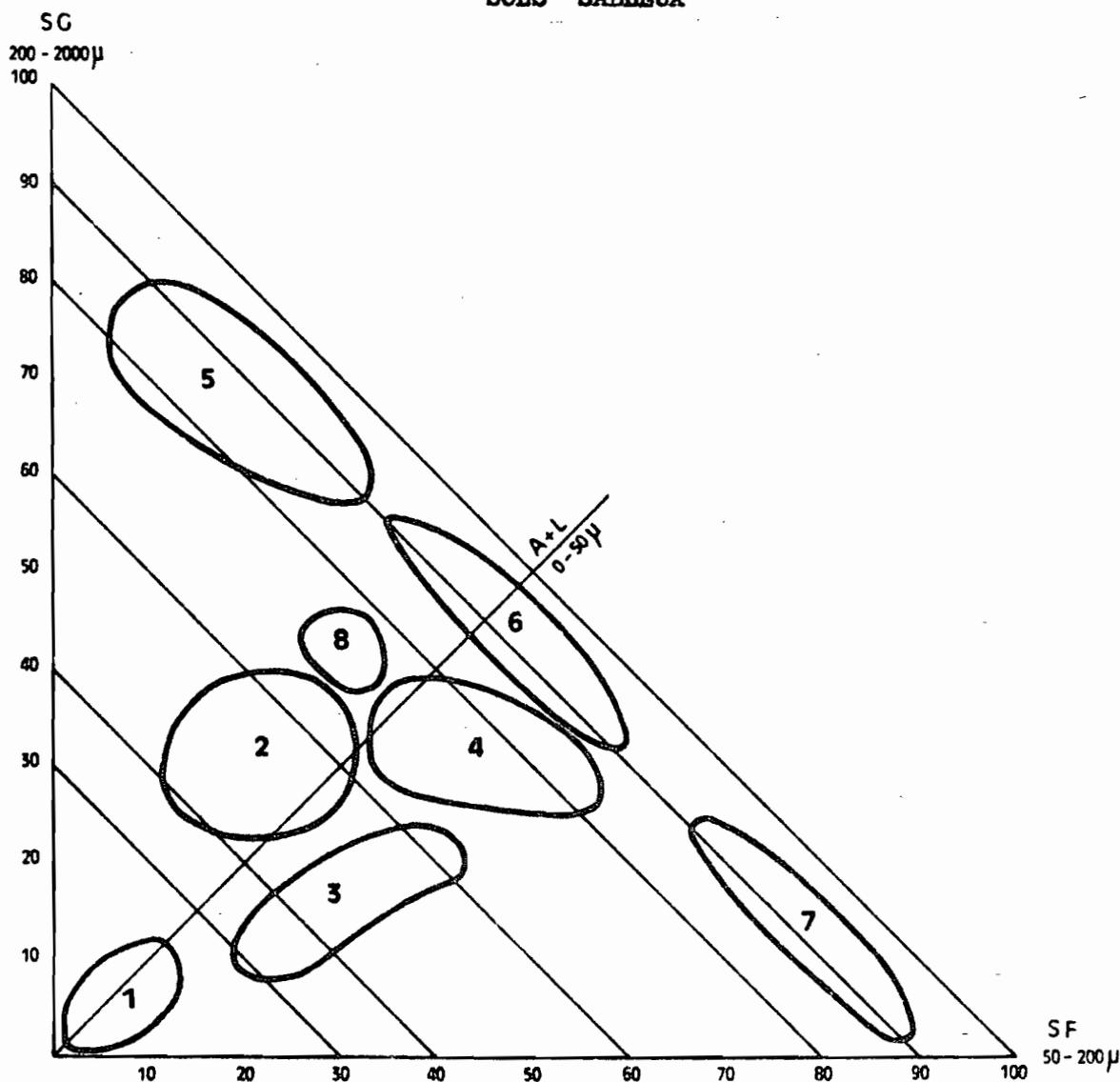
TUS 448

PROFIL : TUS 448

CLASSIFICATION : SOL HYDROMORPHE

	échantillon	1	2	3
	profondeur	0-10	30-40	50-60
granulométrie en %	humidité			
	refus			
	carb. de cal.	48	77	77
	argile			
	limon fin			
	limon grossier			
	sable fin sable grossier			
Matières organiques en ‰	carbone			
	mat. organique			
	azote			
	C/N			
	acides humiques acides fulviques			
Acidité	PH eau 1/2/5	8,5	8,7	8,7
	PH KCl			
Cations échangeables en mé/100g de sol	Calcium Ca <sup>++</sup>	11,2	9,1	9,1
	Magnésium Mg <sup>++</sup>	8,1	5,4	5,3
	Potassium K <sup>+</sup>	2,3	1,8	1,9
	Sodium Na <sup>+</sup>	3,8	1,9	1,4
	S	25,4	18,2	18,6
	T	37,0	20,0	16,0
	√ % Na/T	10,0	9,5	9,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> en ‰	Phosph. total			
	Phosph.			
Sels solubles extrait de pâte saturée en mé/kg	Cond. (mmho/cm)	45	42	34
	Chlorures	216	157	181
	Sulfates	22,1	16,0	21,5
	Carbonates	0	0	0
	Bicarbonates	2,9	2,0	2,2
en mé/100g	Calcium Ca <sup>++</sup>	12,7	10,2	13,0
	Magnésium Mg <sup>++</sup>	36,2	24,7	30,8
	Potassium K <sup>+</sup>	3,3	2,7	3,8
	Sodium Na <sup>+</sup>	20,6	150	174
en %	Fer libre Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			

TRIANGLE TEXTURAL  
adapté aux  
SOLS SABLEUX



Position graphique des principaux types de sols  
de la région de TULLE

- Ensemble 1 : Alluvions fines à moyennes
- " 2 : Sols lithiques, f. brun-calcaires
- " 3 : Sols ischumiques modaux
- " 4 : Sols ischumiques brun-rouges
- " 5 : Sols ferrugineux tropicaux
- " 6 : Sables roux-rouges dunaires
- " 7 : Autres sables dunaires
- " 8 : Sols rouges polygéniques du karst

## REMARQUES SUR LA CLASSIFICATION DES SOLS

### La classification des sables roux dunaires et la notion de paléosol

A l'occasion d'une publication préliminaire (SOURDAT, GENSE et SOURDAT, 1968) la classification des sables roux dunaires avait été conçue de la façon suivante :

- Classe II : Sols peu évolués
- Sous-classe : D'origine climatique
- Groupe : Paléosols
- Sous-groupe : Matériaux riches en sesquioxydes de fer.

Cette présentation originale visait à souligner l'importance théorique et pratique des constatations suivantes :

Les sables roux se présentent aujourd'hui comme des matériaux inertes au sein desquels les seuls processus évolutifs efficaces sont dûs à des apports récents de calcaire, de matière organique ou de sels solubles ; ces processus se traduisent par des caractères morphologiques peu accentués (orientation isohumique, calcimorphe ou halomorphe). D'où leur dévolution à la classe II.

Les sables roux représentent l'horizon supérieur A de profils de décarbonatation parfois très développés en profondeur. En raison des difficultés auxquelles on se heurte lorsque l'on veut atteindre les horizons B (accumulation calcaire) et C (sables beiges), les sables roux sont le plus souvent reconnus, décrits et éventuellement utilisés en fonction du seul horizon A.

Il y a d'ailleurs souvent un doute quant à la filiation des horizons roux et des horizons calcaires puisqu'il n'est pas exclu que ceux-ci aient été décapés, encroûtés et recouverts par un déplacement localisé de sables déjà rubéfiés.

Les sables roux se présentent donc comme des matériaux dont l'évolution propre est bloquée. Les rajeunissements par apports ont éventuellement pour effet d'amorcer de nouveaux processus évolutifs et non pas de réactiver le processus originel. Ce blocage ne résulte ni des conditions d'apports, ni des conditions d'érosion : il résulte du fait que la décarbonatation et la rubéfaction sont des caractères acquis sous l'influence des climats anciens et que le climat actuel, moins efficace, est impuissant à les modifier : c'est un blocage climatique.

### Intérêt théorique de cette classification

Cet état de fait est résumé dans la notion de paléosol. Les observations stratigraphiques justifient l'emploi de ce terme puisque les sables roux se fossilisent les uns les autres.

Sur le plan théorique il nous paraît intéressant de rattacher la notion de "évolution faible ou nulle d'origine climatique" non seulement aux pédoclimats très froids ou très secs mais aussi aux pédoclimats relativement secs par rapport à un climat antérieur et par là même inefficients. D'où l'adjonction d'un groupe des paléosols, parallèles aux sols des toundras, rankers et sols subdésertiques des classes I et II.

### Intérêt pratique

Dans le projet de 1968, les caractères du matériau en tant que sols à sesquioxydes étaient rappelés au niveau du sous-groupe, les distinctions granulométriques établies au niveau de la famille et les degrés d'évolution atteints par les divers matériaux ventilés en série.

Si cette conception d'ensemble avait été maintenue, il eut été plus judicieux d'intégrer les caractères de sols rouges et le caractère ancien, pour permettre de citer au niveau des sous-groupes l'orientation éventuelle de l'évolution par rajeunissement :

Groupe des paléosols à sesquioxydes  
Sous-groupe modal  
Sous-groupe isohulique  
Sous-groupe salin  
etc ...

Une telle classification eut été très satisfaisante en ce qui concerne les sables roux dunaires pour lesquels les caractères de faible évolution sont pratiquement aussi importants à considérer que les caractères de sols à sesquioxydes. Cela eut évité la référence directe au concept de "sols à sesquioxydes" qui peut induire en erreur en ce qui concerne ces sols marginaux, excessivement sableux, meubles, dépourvus de structure et soumis à un climat aride.

Par contre, il y avait un risque d'incohérence en ce qui concerne les autres sols rouges de la région, pour lesquels aucun argument stratigraphique n'authentifie le caractère de paléosol et au seuil desquels le blocage d'évolution climatique n'est pas total.

La classification française des sols procède d'une conception globale dont il est délicat de modifier un terme sans ébranler l'ensemble. Les aménagements proposés risqueraient peut-être d'entraîner un glissement général de tous les sols tropicaux réputés "anciens", des classes de sols évolués vers les classes de sols non ou peu évolués ?

#### La notion de sol fersiallitique et son application locale

Il ne nous a pas paru satisfaisant de ranger tous les sols à sesquioxides décrits dans les limites de cette carte parmi les sous-classes prévues par la classification française de 1965.

Riches en sesquioxides de fer, contenant parfois d'autres minéraux argileux que la kaolinite, formés sur matériaux calcaires et restés fortement calciques bien que parfaitement décarbonatés, les sols que nous avons appelés "fersiallitiques" auraient pu être dits "rouges méditerranéens" ; RIQUIER (1968) avait pris ce parti. On ne considère généralement pas que la contradiction géographique fasse obstacle. La contradiction climatique serait plus gênante puisqu'à Madagascar la saison chaude-humide alterne avec la saison fraîche-sèche mais il n'a pas été démontré pour autant que la notion de sol méditerranéen soit exclusivement inféodée à une alternance de saisons froide-humide et chaude-sèche (BOTNER et LOSSAINT, 1967). Ce sont en fait des critères morphologiques qui nous ont paru rédhibitoires : la texture sableuse et l'absence caractéristique de structure se concilient mal avec la notion usuelle de sol rouge méditerranéen. HERVIEU avait éprouvé la même réticence et parlait de "sols rouges ou jaunes de décalcification" (1958).

Il serait tout autant contestable d'assimiler ces sols aux "ferrugineux tropicaux" puisque non seulement l'individualisation du fer ne s'exprime jamais par accumulations localisées mais encore ne paraît jamais latente. Les éventuelles dégradations de surface sont dues à l'érosion et au compactage, mais ne prennent jamais les caractères d'un lessivage.

La classification C P C S de 1967 approche la réalité de plus près en ce qu'elle prévoit un sous-groupe de sols ferrugineux peu lessivés "à complexe presque saturé, pauvre en matière organique, sur sable", mais la dévolution de nos sables rous et sols rouges du karst à ce sous-groupe contredirait le standard de la sous-classe qui prévoit des sols "jaunes (10 YR, 7,5 YR)" et "une séparation des sesquioxides d'avec les parties argileuses" dont nous ne trouvons ici aucun indice.

En définitive l'emploi que nous avons fait du terme "fersiallitique" rejoint le concept défini par le C.P.C.S. :

- les oxydes de fer accompagnent l'argile et sont distribués de façon similaire dans le profil ;
- le profil est très vivement coloré (10 R, 2,5 YR, 5 YR) ;
- les horizons supérieurs sont décarbonatés ;
- la fraction argileuse peut contenir de l'illite ;
- le taux de saturation est élevé.

Il est par contre malaisé d'opter entre les sous-classes proposées en fonction de la réserve calcique et du taux de saturation : dans les limites de la carte la réserve existe et la saturation est presque totale, mais à VINETA \*, des sols génétiquement semblables voient leur saturation tomber à 20 % pour peu que les profils s'approfondissent.

#### REMARQUES SUR LA MATIERE ORGANIQUE DES SOLS

La comparaison des taux respectifs de carbone total, d'acides humiques et fulviques et d'acides humiques gris, bruns ou intermédiaires, séparés par électrophorèse montre que la composition de la matière organique est fonction du couvert végétal et relativement indépendante de la nature du sol.

Le taux AH/AF varie notablement pour un même type de sol selon qu'il se trouve sous couvert ligneux ou herbacé. De même pour le taux d'acides humiques gris :

	Sous bush	Sous graminées
AH/AF	de 0,5 à 2,2	de 2 à 4,5
AG	de 41 à 52 %	de 42 à 64 %

On ne peut donc pas caractériser les sols par la nature des composés organiques. Par contre la répartition de la matière organique permet de distinguer les sols décarbonatés dans lesquels les horizons organiques sont très superficiels et les sols carbonatés dans lesquels la répartition est plus profonde et plus régulière : c'est pourquoi la recarbonatation des sables roux se traduit par une évolution secondaire du profil dans le sens isohumique.

---

\* Cf. SOURDAT (1973).

## CONCLUSIONS

### LES PERSPECTIVES DE MISE EN CULTURE

#### Sols à fortes potentialités agricoles

La carte pédologique de TULTAR-AMBOHIMAHAVELONA révèle l'exigüité des surfaces dont l'exploitation agricole peut être préconisée sans restrictions. Elles se réduisent aux terrasses alluviales de textures moyennes ou fines, non salées ou peu salées, irrigables (unités II 52a, partiellement II 52b, II 53a et XI 31a). Ces unités privilégiées par la nature et dont la vocation agricole est évidente sont bien connues des paysans comme des organismes qui en animent l'exploitation ou y entretiennent des stations de recherche (Services Agricoles, SEDEFITA, IRAM, IRCT,...). Nous en avons reconnu les contours sans en approfondir la connaissance. Ces sols possèdent un potentiel de fertilité élevé grâce à une forte capacité d'échange des argiles et à de bonnes réserves minérales ; leur rendement n'est limité que par une pauvreté relative en azote et par l'aridité du climat que pallie l'irrigation.

#### Sols à faibles potentialités agricoles

On ne trouve ailleurs que des sols à faible niveau de fertilité ou physiquement vulnérables dont la mise en valeur serait aventureuse et dont la conservation après défrichement serait menacée. Par ailleurs le rendement des cultures dépend de l'abondance et de la répartition des précipitations annuelles et ne peut être assuré que par l'appoint de l'irrigation. Seuls les sols des vallées et du delta bénéficient de cette irrigation.

Parmi ces unités marginales il y a lieu de distinguer d'abord celles qui sont irrigables et non salées. Ce sont celles que domine le canal de la TABLE\* ou que pourrait desservir son éventuelle prolongation : sols isohumiques (unités V 91a et V 92a) et sables roux dunaires (VIII 61a, 62a, 63a, 64a).

L'irrigation permettra sans aucun doute la mise en valeur de ces sols et leur conférera à terme un haut potentiel de fertilité mais l'opération exige de la constance dans l'effort et un encadrement technique sans faiblesse.

---

\* On désigne ainsi le canal le plus récent, destiné à l'irrigation des sables roux dunaires. Sa partie terminale est orientée vers la TABLE mais s'en trouve encore fort éloignée et très inférieure en cote.

Sur sables roux dunaires il faudrait obtenir très rapidement un degré de colmatage tel que la consommation d'eau soit ramenée à des taux raisonnables, que l'infrastructure du réseau se stabilise\* et que les paysans allocataires ne désespèrent pas du résultat final. Il faudrait pour cela procéder à l'inondation massive de petites surfaces et colmater les parcelles de proche en proche plutôt que de répartir inefficacement l'eau sur de grandes superficies. Sur sols isohumiques au contraire il importe de ne pas provoquer d'encroûtement calcaire ni de remontées salines et pour cela dispenser l'eau avec régularité et sans excès.

Parmi les unités salées et irrigables, on peut écarter d'emblée celles dont les textures sont par trop grossières (II 51a, II 51b, X 12a).

La récupération des autres unités de sols halomorphes serait techniquement "possible" au prix d'investissements disproportionnés. Il s'agit en effet de superficies restreintes et hétérogènes ; les dépôts limoneux reposent à faible profondeur sur des sables grossiers qui conduisent la nappe saline ; ces zones sont par ailleurs menacées d'inondations alternativement fluviales ou marines. Les sols non irrigables de la plaine côtière et particulièrement les sables roux grossiers de la rive droite, soumis sans palliatif à l'aridité du climat ne présentent que de très faibles aptitudes culturales (manioc pluvial). La sagesse commanderait de les maintenir sous leur couvert naturel : le bush est en effet non seulement un élément de l'équilibre écologique régional mais une relique du patrimoine scientifique et touristique mondial dont l'élimination serait regrettable.

Aux sols du plateau calcaire l'appoint de l'irrigation est peut-être moins indispensable puisqu'ils reçoivent des précipitations légèrement plus importantes mais le manque de profondeur et l'excès de calcaire ont écarté a priori tous autres sols que les "sols rouges", voire quelques colluvions de sols steppisés associées à l'unité II 41c.

Parmi ces "sols rouges", les sols ferrugineux tropicaux (VIII 41a) sont de texture trop grossière et trop dépourvus de réserves chimiques pour supporter des cultures suivies rentables ; leur reboisement est souhaitable. Les sols fersiallitiques du karst (VIII 65a) constituent donc le seul terroir tant soit peu fertile d'une population d'immigrants de plus en plus nombreuse ; le manioc et le maïs y subsistent mais le cotonnier s'y est trouvé trop aventuré. En égard à la faiblesse de leurs réserves chimiques, de meilleurs rendements pourraient

---

\* Tant que le colmatage n'est pas effectif, l'eau s'engouffre dans les sables, les ravine et affouille les ouvrages bétonnés.

être obtenus par fumure mais l'efficacité d'un tel investissement reste suspendue aux incertitudes de la météorologie locale ; l'irrégularité des pluies n'incite pas à les consentir.

Les perspectives de mise en culture de la région de TULEAR sont donc très limitées et de plus, il importe de souligner combien il serait absurde de vouloir gagner ici et là, à grands frais, quelques hectares de sols plus ou moins médiocres si l'on reste exposé par ailleurs à perdre inopinément des centaines d'hectares de terres de première qualité du fait des caprices des fleuves et des ravages de l'érosion\*. Il faut donc envisager prioritairement les perspectives de conservation de la nature et des sols.

#### LES PERSPECTIVES DE CONSERVATION DE LA NATURE ET DES SOLS.

La carte offre une image aussi suggestive que possible du contraste très frappant qui oppose dans la nature, un milieu caractérisé par des sols "rouges" à des milieux caractérisés par des sols "non-rouges", peu évolués pour la plupart.

L'étude parallèle de la géomorphologie et des sols montre que ces sols se répartissent entre trois grands domaines où prédominent respectivement des processus de conservation, d'ablation ou d'accumulation.

Le domaine de la conservation coïncide avec celui des "sols rouges". Cela apparaît à l'échelle régionale en ce qui concerne les karsts couverts (SOURDAT, BATTISTINI et KARCHE, 1971) ; l'absence de réseau hydrographique superficiel met la couverture meuble de ces karsts à l'abri de l'érosion d'autant plus que les cavités des lapiaz sont propres à les piéger. Cela est vrai également des sables roux dunaire à la surface desquels aucun écoulement linéaire ne se manifeste et des terrasses rubéfiées anciennes qui ne sont plus fonctionnelles et se trouvent perchées hors d'atteinte des crues. L'approfondissement des sols rouges étant bloqué climatiquement, ce domaine ne peut maintenant que se restreindre.

Le domaine de l'ablation coïncide avec celui des sols "non-rouges" du plateau calcaire et des anciens glacis. Il procède d'une généralisation de l'écoulement linéaire et s'étend aux dépens des sols rouges qui sont progressivement rajeunis ou éliminés.

---

\*En décembre 1966, 300 hectares environ de sols alluviaux des terroirs de MITSINJO, AMBOHITSABO, TANIVAKY, etc... ont été enlevés par une crue du FIHERENANA qui a envahi la plaine de rive droite.

Le domaine de l'accumulation est constitué par les dépôts fluviatiles et littoraux récents, y compris les dunes vives : on n'y trouve pas de sols rouges. En ce qui concerne les alluvions fluviatiles, il dépend de l'état du bassin versant qu'elles soient constituées de sédiments fins et fertiles (bassin protégé - écoulements réguliers - dépôts par décantation), ou de sédiments grossiers et stériles (bassin vulnérable - écoulements torrentiels).

Pour apprécier les perspectives prochaines d'équilibre ou de substitution entre ces trois domaines morphologiques et entre les sols qui les occupent, il importe de raisonner selon deux échelles de temps distincts : l'échelle géologique et l'échelle historique. Un observateur aurait en effet trouvé l'aspect de la région bien différent au seuil de la période historique malgache et il sera peut-être sensiblement modifié avant 100 ans... les variations notées durant ce laps de temps ne représentent néanmoins qu'une péripétie à l'échelle des périodes aepyornienne et actuelle. Qu'en peut-on conclure ?

Au cours de l'Aepyornien, le sud-ouest de Madagascar a été le théâtre d'une modification profonde du milieu, conséquence des modifications du niveau marin et des climats (BATTISTINI, 1969, (MAHE et SOURDAT, 1970). Les éléments du milieu ancien ne subsistent qu'en tant qu'héritage et témoins de l'ancien état de chose. Ils constituent un écosystème particulier dont l'influence est limitée au domaine de la "conservation"; épaisseur et nature des sols, pédoclimats, couvert végétal, biomasse et formes du modelé ne semblent plus harmonisés aux conditions semi-arides qui se sont généralisées ultérieurement et étendent leur influence aux autres domaines.

Ce qui a disparu est en fait beaucoup plus qu'une certaine profondeur des sols, certains processus de pédogénèse, certains types de paysages et certaines caractéristiques de la météorologie : c'est un équilibre naturel que résume la notion de "biostasie"; au déséquilibre actuel répond la notion de "rhexistasie" (ERHART, 1957)\*.

---

\* On peut situer la rupture de l'équilibre de différentes façons dans la chronologie de l'Aepyornien.

Pour quelques auteurs et en particulier BATTISTINI, la rupture suivrait la dernière période "pluviale" à laquelle il rapporte les dépôts "lavanoniens" datés entre 33 000 et 6 700 ans B.P. Les conditions d'aridité actuelles seraient par contre stabilisées depuis 2 000 ans environ. D'autres (BOURGEAT, 1970) préfèrent rapporter les dépôts "lavanoniens" à un épisode "displuvial" dit "Sambainien". Le pluvial post-sambainien se situant de ce fait postérieurement à 6 700 ans B.P., la dernière rupture d'équilibre climatique coïnciderait avec la phase finale de la transgression marine flandrienne soit vers 3 700 ans B.P. (BATTISTINI, 1970). La crise climatique serait dans cette hypothèse plus aiguë et plus proche des temps historiques.

L'aridification du sud-ouest étant un fait acquis à l'échelle géologique, ses effets devraient se compléter inéluctablement par l'élimination des derniers témoins naturels de l'écosystème antérieur, à moins d'un renversement de la tendance et d'un relèvement de la pluviométrie. Cette aridification se situe dans une perspective de temps et de phénomènes qui nous dépassent et il semble qu'aucune intervention humaine ne pourrait y obvier.

Si l'on peut admettre que l'aridification climatique a rendu le milieu vulnérable il est non moins admis par tous les auteurs que c'est à l'échelle historique et du fait de l'homme que de cours de sa dégradation s'est brusquement accéléré jusqu'à prendre un caractère catastrophique (MORAT, 1972).

Si l'homme reste, à son échelle, le principal responsable, il lui appartient encore de contrôler son action et d'en limiter les dégâts.

Quelques auteurs, autorisés par une longue pratique de l'Ile se sont alarmés de modifications récentes et très dommageables des équilibres naturels du Sud-Ouest. D'autres personnes ont cru devoir éluder ces avertissements qui ne seraient pas fondés sur des observations "scientifiques" suffisamment précises et répétées...! Est-il pourtant prudent d'attendre ? La situation ne sera-t-elle pas devenue irrémédiable avant même qu'on ait réuni les "preuves" du danger ?

Toutes les perspectives de sauvegarde et de promotion du potentiel économique de la région de TULEAR semblent passer par la protection du couvert végétal et la régularisation des écoulements\*. Royaume du FIHERENANA écrivions-nous en introduction de cette étude... Ce souvenir historique reste une réalité naturelle : la survie de TULEAR dépend de son environnement et toute action sur le bassin versant du FIHERENANA la concerne.

---

\* "Les recherches devront faire une place de choix aux études hydrologiques ; "le fleuve est en effet une synthèse vivante des différents facteurs possibles de l'assèchement : les pluies, les températures, la couverture végétale, la nature du sol, l'abondance et la variation des sources pour ne citer que les principaux... l'étude du FIHERENANA paraît devoir bénéficier de la "priorité" (P. MARTIN, 1950).

BIBLIOGRAPHIE

- ATLAS DE MADAGASCAR - 1969 - Association des Géographes de Madagascar, B.D.P.A., I.G.N., 31 planches en couleur, 5 notices.
- AUBERT (G.) - 1965 - La classification pédologique utilisée en France. Pédologie. Symp. intern. 3, class. des sols; pp. 25-56, Gand.
- AUBERT (G.) - 1965 - Classification des sols. Cahiers ORSTOM, sér. Pédol. III, n° 3.
- BATTISTINI (R.) - 1959 - Les divisions du Plioquaternaire du Sud de Madagascar. C.R. Ac. Sc., t. 248, pp. 992-993, séance du 16 février.
- BATTISTINI (R.) - 1964 - L'Extrême-Sud de Madagascar. Etude géomorphologique. Thèse de Doc. Lettres. Etudes malgaches n° 10 et 11, 636 p.
- BATTISTINI (R.) - 1965 - Le quaternaire littoral de l'extrême nord de Madagascar. Bull. Ass. Fra. pour l'étude du Quaternaire, 1965 - 2 p. 133-144.
- BATTISTINI (R.) - 1969 - Les modifications du climat de Madagascar au Plioquaternaire. Mém. Acad. malgache, fasc. XLIII, pp. 103-114, 6 fig.
- BATTISTINI (R.) - 1970 - Etat des connaissances sur les variations du niveau marin à Madagascar depuis 10.000 ans. C.R. Sem. Géol. Madagascar, Imp. Nation., pp. 13-15, 1970.
- BESAIRIE (H.) - 1948 - Hydrologie de Tuléar. Trav. Bur. Géol. n° A 254.
- BESAIRIE (H.) - 1953 - Le sud du Bassin de Morondava. Trav. Bur. Géol. n° 44, Tananarive, multigr., 93 p.
- BLANC (J.J.), CHAMLEY (H.) et FROGET (C.) - 1966 - Sédimentation paralique et récifale à Tuléar. Ann. Univ. Madagascar, pub. Fac. Sciences n° 4, pp. 34-79, photos, fig. et bibliog.
- BOSSER (J.), HERVIEU (J.) - 1958 - Notice sur la carte d'utilisation des sols de la plaine de Tuléar. I.R.S.M. TANANARIVE, 44 p. multigr.
- BOTTNER (P.) et LOSSAINT (P.) - 1967 - Etat de nos connaissances sur les sols rouges du bassin méditerranéen. Sciences du Sol, num. spé. édit. par l'A.F.E.S., pp. 49-81.

- BOURGEAT (F.) - 1970 - Contribution à l'étude des sols sur socle ancien à Madagascar. Types de différenciation et interprétation chronologique au cours du quaternaire. Thèse Doc. ORSTOM TANANARIVE, multigr. 310 p. + 1 annexe.
- CLIQUET (J.P.) - 1957 - Tectonique profonde du sud du Bassin de Morondava. C.R. Conf. C.C.T.A. TANANARIVE, Serv. Géol., pp. 199-218.
- C.P.C.S. - 1967 - Classification des sols. Travaux de la commission de Pédologie et de Cartographie des Sols. Diffusé par le Lab. de Géol.-Pédol. de l'E.N.S.A. de GRIGNON, multigr., 87 p.
- DERIGEARD (R.) - 1966 - Contribution à l'étude du peuplement des sédiments sablo-vaseux et vaseux intertidaux, compactes ou fixés par la végétation de la région de Tuléar. Etudes Malgaches, pub. de l'Univ. de Madagascar, n° XVII, 94 p.
- DIDIER DE SAINT AMAND (R.) et GOARIN (S.) - 1955 - Contribution à l'étude des sols sur la rive gauche de la basse vallée du Fiherenana. Serv. de la Recherche Agron. Station du Lac Alaotra, 23 p. multigr.
- DUFLOS (J.) - 1966 - Bilan des explorations spéléologiques pour l'année 1965. Madagascar, Revue de Géographie, n° 9, pp. 234-252.
- DUVERGE (P.) - 1949 - L'indice d'aridité à Madagascar. Pub. du Serv. Météor. TANANARIVE, multigr., 44 p., n° 18.
- ERHART (H.) - 1967 - La genèse des sols en tant que phénomène géologique. Esquisse d'une théorie géologique et géochimique. Biostasie et rhéostasie. Masson édit. Paris.
- FOURNIER (F.) - 1962 - Carte du danger d'érosion en Afrique au sud du Sahara, fondé sur l'agressivité climatique et la topographie. Carte au 1/10.000.000e (avec Madagascar) et notice C.C.T.A.
- GERMAIN (L.) - 1921 - Mollusques quaternaires, terrestres et fluviatiles. Ann. Paléont. T. X, fasc. 1-2.
- GRAFFIN (Ph.) - 1964 - Etude de la station des sols salés de Tuléar. Centre ORSTOM - TANANARIVE, 75 p., multigr.
- HERVIEU (J.) - 1958 - Notice explicative sur les cartes pédologiques de reconnaissance au 1/200.000e. Feuille n° 64, Ambovombe. I.R.S.M. TANANARIVE, 70 p.

- MERVIEU (J.) - 1959 - Notice explicative sur les cartes pédologiques de reconnaissance au 1/200.000e. Feuille n° 63, Ampanihy-Beloha. I.R.S.M. TANANARIVE, 113 p.
- MERVIEU (J.) - 1965 - Note sur les formations néogènes dans les régions côtières de l'ouest et du nord-ouest de Madagascar. C.R. Sem. Géol. Madagascar, pp. 19-27.
- HUMBERT (H.) et COURS DARNE (G.) - Carte internationale du tapis végétal : notice de la carte de Madagascar. Ext. tr. Inst. Fr. de Pondichéry hors série n° 6.
- KILIAN (J.) - 1966 - Etude pédologique de la cuvette d'Ankazomanga. Recherche des sols à arachides. IRAM TANANARIVE, doc. n° 58, et Agronomie Tropicale, sér. Agro. géné. et études tech. vol. V 1966, pp. 633-658.
- MARTIN (P.) - 1950 - Etudes hydrologiques et assèchement du Sud-Ouest malgache. Rev. Géogr. Alp., II, pp. 357-360.
- MAHE (J.) et SOURDAT (M.) - 1970 - Sur l'extinction des vertébrés subfossiles et l'aridification du climat dans le sud-ouest de Madagascar. Description des gisements. Datations absolues. ORSTOM et Fac. Sciences TANANARIVE, multigr. 27 p. et Bull. Soc. Fr. Géol., note n° 85, t. XIII, PARIS, 1971.
- METEO - 1956 - Températures de l'air sous abri à Madagascar, aux Comores et à La Réunion. Pub. du Serv. Météo TANANARIVE, n° 25. Données établies sur 10 années antérieures à 1950.
- METEO - 1964 - Les pluies à Madagascar. Normales standard 1931 - 1960. Moyennes de 1936 - 1960. Pub. du Serv. Météo TANANARIVE n° 29.
- MORAT (P.) - 1969 - Note sur l'application à MADAGASCAR du quotient pluviométrique d'EMBERGER. Cah. ORSTOM, sér. Biol., n° 10, pp. 117-132, 2 fig., bibliogr. et annexes.
- MORAT (P.) - 1972 - Contribution à l'étude des savanes du sud-ouest de MADAGASCAR. Thèse doct. Sc. Nat. Univ. PARIS-ORSAY et ORSTOM TANANARIVE, multigr., 276 p. carte.
- PACHOUD (A.) - 1954 - Etude de l'Eocène entre l'Onilahy et le Mangoky. Sté des Pét. Malg., Doc. n° 200.
- PEGUY (Ch. P.) - 1961 - Précis de climatologie. Masson & C° Edit. Paris, 347 p.

- RIQUIER (J.) - 1959 - Le bilan hydrique des sols calculé d'après les données météorologiques courantes. Doc. multigr. n° A 1507, Serv. Géol. Madagascar, 113 p., 4 cartes, 105 graph.
- RIQUIER (J.) - 1968 - Carte pédologique de Madagascar, à l'échelle de 1/1.000.000e. ORSTOM - TANANARIVE, 3 feuilles.
- Les sols de Madagascar. Notice de la carte pédologique au 1/1.000.000e et Manuel des sols de Madagascar. Inédit.
- ROCHE (P.), TREYER (M.) - 1962 - Périmètre du Fiherenana (province de Tuléar). Etude Agronomique I.R.A.M. TANANARIVE, multigr., 108 p.
- SAINT OURS (J. de) - 1955 - Notes sur la stratigraphie du plateau de la Table. Arch. Scs Géol. Tananarive A 870.
- SERVICE GEOLOGIQUE - Carte de Madagascar à 1/100.000e en couleurs. TANANARIVE.
- SOURDAT (M.) - 1967 - Reconnaissance pédologique du périmètre de Benenitra (Province de Tuléar). ORSTOM, TANANARIVE, multigr. 8 p., 1 carte.
- SOURDAT (M.) - 1967 - Note de reconnaissance sur la plaine de Maromandry, rive droite du Fiherenana. ORSTOM, TANANARIVE, multigr. 6 p., 1 carte.
- SOURDAT (M.) - 1969 - Notes de climatologie descriptive. Région sud-ouest de Madagascar (Préfecture de Tuléar). ORSTOM, TANANARIVE, multigr., 27 p., 22 tableaux et 18 graph., bibliogr.
- SOURDAT (M.) - 1970 - Sur deux témoins des épandages continentaux pliocènes et de la topographie fini-tertiaire sur les plateaux karstiques de la région de Tuléar. Planche n° 4. C.R. Sem. Géol. Madagascar, Imp. Nat. pp. 25-29.
- SOURDAT (M.) et GENSE (C.) - 1968 - Les formations sableuses de la région de Tuléar. Analyse par diffraction R.X. ORSTOM - TANANARIVE, multigr. 1 vol., 39 p. et carte au 1/40.000e approché héliogr.
- SOURDAT (M.) et GENSE (C.) - 1969 - Les sables roux de la région de Tuléar. Observations stratigraphiques. Analyses par diffraction aux rayons X. C.R. de la Sem. Géol. Madagascar, pp. 99-103.
- SOURDAT (M.), BATTISTINI (R.) et FARCHE (J.P.) - 1971 - Phénomènes de pédogénèse et de karstification dans le sud-ouest de Madagascar. Madagascar, Revue de Géogr. n° 18, pp. 50-75.

- SOURDAT (M.) - 1972 - Carte pédologique de ANTSEVA à 1/100.000e, en couleurs et notice multigr., 44 p., et 62 annexes. ORSTOM et M.A.E.R. TANANARIVE.
- SOURDAT (M.) - 1973 - Carte pédologique de VIHETA à 1/100.000e en couleurs, et notice multigr., 60 p. et 33 annexes. ORSTOM et M.A.E.R. TANANARIVE.
- VIERS (G.) - 1968 - Eléments de climatologie. F. Nathan édit. PARIS.

# CARTE PÉDOLOGIQUE

À L'ÉCHELLE DE 1/100000

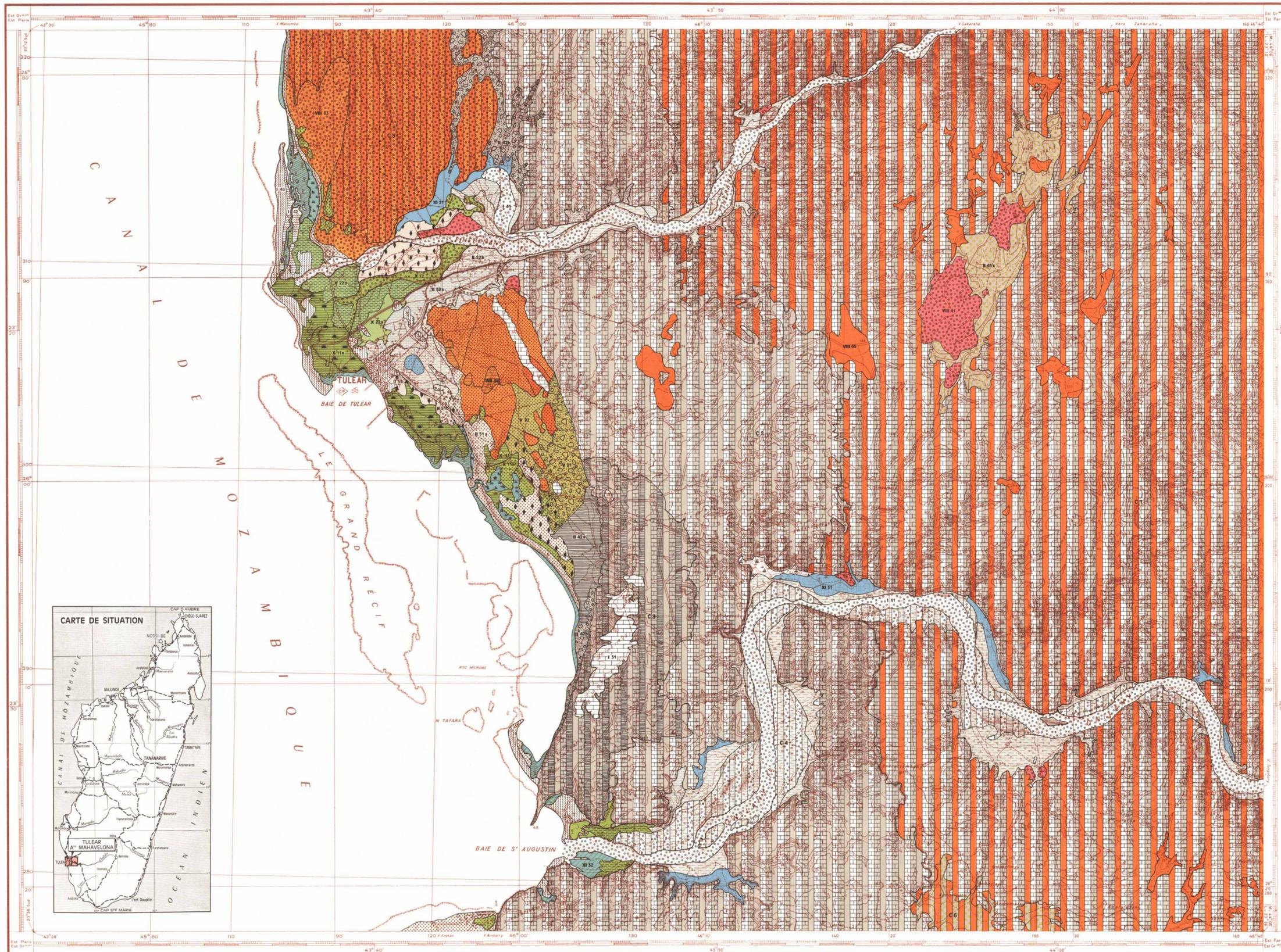
COUPURES I.G.N. : TULÉAR (C. 58) A<sup>HI</sup> MAHAVELONA (D. 58)

Dressée par M. SOURDAT (1970)

D'après les levés de J. BOSSER J. HERVIEU PH. GRAFFIN M. SOURDAT

REPUBLIQUE FRANÇAISE  
OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
ET TECHNIQUE OUTRE-MER  
CENTRE DE TANANARIVE

REPUBLIQUE  
MALGACHE



**LEGENDE PÉDOLOGIQUE**  
Les chiffres placés devant les caissons indiquent l'équivalence avec la légende géomorphologique

**I - SOLS MINÉRAUX BRUTS**  
SOLS D'ORIGINE NON CLIMATIQUE  
SOLS D'ÉROSION  
I 31 - LITHOSOLS

12 - 31 a - Sur calcaires

**SOLS D'APPORT**  
I 41 - FLUVIATILES

51 - 52 a - Sur sables grossiers

I 42 - MARINS

72 a - Sur sables grossiers coralligènes

I 43 - ÉOLIENS

71 a - Sables fins

**II - SOLS PEU ÉVOLUÉS**  
SOLS D'ORIGINE NON CLIMATIQUE  
SOLS D'ÉROSION  
II 41 - LITHIQUES

14 a - Sur calcaires durs, faciès brun-calcaire (Cf. C1-C2-C3)

12 b - Sur sols rouges tronqués, faciès brun-calcaire (Cf. C1)

13 c - Sur calcaires tendres, faciès isohumique

II 42 - REGOLIQUES

15 - 22 a - Sur marnes à huîtres, faciès isohumique

23 b - Sur matériaux détritiques calcaires, faciès isohumique

11 c - Sur placages éoliens ou colluviaux, faciès complexes (Cf C2-C3)

**SOLS D'APPORT**  
II 51 - MODAUX

33 - 43 - 72 a - Sables fins ou divers, faciès isohumique localement salés par infiltrations

53 b - Sur sables grossiers, faciès isohumique ou halomorphe

II 52 - HYDROMORPHES

55 a - Sur alluvions fines ou moyennes

54 b - Sur alluvions moyennes ou grossières

II 53 - SALES OU ALCALISES

54 - 55 a - Sur alluvions salées par infiltrations

**III - SOLS CALCOMAGNÉSIMORPHES**  
RENDZINIFORMES  
RENDZINES A HORIZONS  
III 23 - SOLS BRUN-CALCAIRES (Pour mémoire)

12 - 14

**IV - VERTISOLS**  
SOLS TOPO-LITHOMORPHES  
VERTISOLS NON GRUMOSOLIQUES  
IV 22 - SOLS A CARACTÈRES VERTIQUES PEU ACCENTUÉS (Pour mémoire)

12

**V - SOLS ISOHUMIQUES**  
SOLS A COMPLEXE SATURÉ (ÉVOLUANT SOUS UN CLIMAT CHAUD PENDANT LA SAISON DES PLUIES)  
SOLS BRUNS SUB-ARIDES  
V 91 - MODAUX

22 a - Sur colluvions calcaires localement salés par infiltration

V 92 - BRUN-ROUGES SUB-ARIDES

35 a - Sur sols fersiallitiques recarbonatés localement salés par infiltrations

**VIII - SOLS A SESOUIOXIDES**  
SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX  
SOLS PEU OU PAS LESSIVÉS (ROUGES OU JAUNES)  
VIII 41 - HÉTÉROGÈNES (A CARACTÈRES VARIABLES)

21 - 56 a - Sur sables grossiers

**SOLS FERSIALLITIQUES**  
SOLS INDIFFÉRENCIÉS  
VIII 61 - PALEOSOLS ROUX-ROUGES

31 - 41 a - Sables fins ou divers

VIII 62 - PALEOSOLS ROUX FONCÉS

321 - 421 a - Sables fins ou divers

VIII 63 - PALEOSOLS ROUX CLAIRS

322 - 422 a - Sables fins ou divers

VIII 64 - ANTHROPIQUES

34 a - Sur sables colmatés par irrigation

VIII 65 - POLYGÉNIQUES

11 a - Sur complexe karstique

**X - SOLS HALOMORPHES**  
SOLS A STRUCTURE NON DÉGRADÉE  
SOLS SALINS  
X 11 - A ENCROûTEMENT SALIN  
a - Sur dépôts fluviomarins varvés localement couverts par voiles éoliens et nekas

74 b - Sur sables

X 12 - A HORIZONS SUPERFICIELS FRIABLES

66 a - Sur sables grossiers

**SOLS SALES A ALCALIS**  
X 22 - PEU OU MOYENNEMENT SALES, A ALCALIS

61 a - Sur alluvions fines

61 b - Sur alluvions moyennes

**XI - SOLS HYDROMORPHES**  
SOLS MOYENNEMENT ORGANIQUES  
SOLS HUMIQUES A GLEY  
XI 21 - SALES

64 a - Sur matériaux fins, organiques et fluides

**SOLS MINÉRAUX**  
SOLS A GLEY  
XI 31 - A GLEY D'ENSEMBLE

55 a - Sur argiles fluviatiles

XI 32 - A GLEY SALES

65 - 73 a - Sur argiles fluviomarines ou marines

**COMPLEXES DE SOLS**

C 1 COMPLEXE KARSTIQUE DE L'ÉOCÈNE I  
I 31 + II 41 (a - b) + VIII 65

C 2 COMPLEXE KARSTIQUE DE L'ÉOCÈNE II  
I 31 + II 41a + II 42c

C 3 COMPLEXE DES AFFLEUREMENTS MARNEUX  
II 41a + II 42a + II 42c

C 4 COMPLEXE ALLUVIAL  
I 41 + II 52b

C 5 COMPLEXE DES SABLES ROUX MIXTES  
VIII 61 + VIII 62 Sur sables divers

C 6 COMPLEXE DES AFFLEUREMENTS DE CALCAIRE TENDRE  
II 41c + VIII 65

**LEGENDE GEOMORPHOLOGIQUE**

1 - COMPLEXE KARSTIQUE

11 - Karst couvert

12 - Karst découvert

13 - Affleurements de grès calcaires tendres

14 - Falaises et thalwegs

15 - Affleurements marneux

2 - COMPLEXE CONTINENTAL

21 - Épandages pliocènes

22 - Glacis d'accumulation marneux ou calcaires

23 - Dépôts de bas de pentes

3 - COMPLEXE AÉPYORNIEN LITTORAL, SABLES ROUX ET GRÈS DUNAIRE

31 ou 41 - Q 1 Eolien ou mixte

321 ou 421 - Q 21 Eolien ou mixte

322 ou 422 - Q 22 Eolien ou mixte

33 ou 43 - Q 3 Eolien ou mixte

34 - Sables roux colmatés

35 - Sables roux recarbonatés

5 - COMPLEXE FLUVIAL

51 - Lits temporaires

52 - Banquettes temporaires

53 - Bras morts salinisés

54 - Terrasses au fil de l'eau

55 - Terrasses abritées et cuvettes de décantation

56 - Terrasses anciennes rubéfiées

6 - COMPLEXE D'ESTUAIRE

61 - Alluvions salées par infiltration

62 - Evaporites : dépôts varvés salins

63 - Evaporites couverts par dépôts éoliens ou fluviaux

64 - Mangroves décadentes

65 - Mangroves d'estuaire

66 - Bras morts infiltrés

7 - COMPLEXE LITTORAL

71 - Dunes vives

72 - Crêtes de plages anciennes et atterrissements coralligènes

73 - Mangroves littorales

74 - Marécages sublittoraux