

Les sols du delta de Mangoky (Sud-Ouest malgache) : leurs caractéristiques physico-chimiques sous différents faciès de mangrove.

RANDRIAMBOAVONJY Jean Chrysostome (1), Andriamparany RAKOTOMAVO (2),

1 : Professeur au Département des Eaux et Forêts –Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques -Université d'Antananarivo
e-mail : jc.randriamboavonjy@gmail.com

2 : Bureau d'études SAVAIVO

B.P. : 8186 Antananarivo (101)

e-mail : andri.savaivo@blueline.mg

RESUME

Le présent article essaie d'apporter sa contribution pour combler les lacunes observées en matière de données pédologiques des mangroves malgaches. Il essaie de caractériser la mangrove du delta de Mangoky, en fournissant des données physico-chimiques des sols de cette zone. A cet effet, l'article compte vérifier l'hypothèse selon laquelle les caractéristiques physico-chimiques des sols du delta varient selon les faciès de mangrove rencontrés.

6 faciès végétaux, fonction de la dominance des espèces, de la composition floristique et de la localisation géographique par rapport à l'axe des cours d'eau et chenaux de marée ont été étudiés.

Des travaux d'inventaire floristique pour avoir la composition floristique du faciès végétal ont été réalisés dans des parcelles de 10m x 10m. Des descriptions des aspects physiques comme la structure, la couleur, la texture, l'enracinement, puis des analyses physico-chimiques (azote, carbone, bases échangeables, acidité, salinité) des sols ont été faites.

Comme résultats : les sols du delta sont argilo-limoneux, ils présentent un taux d'argile supérieur à 50%. Ayant une texture argilo-limoneuse, ils contiennent 51% d'argile, 27 à 29% de limon et 19 à 21% de sable environ. Ces variations sont liées au faciès végétal.

Le taux de limon tend à diminuer au fur et à mesure qu'on descend en profondeur (entre 0 et 60cm), et ce, contrairement au cas de l'argile dont le pourcentage augmente.

Le rapport C/N est moyen oscillant autour de 16, indiquant que le degré d'évolution des matières organiques est satisfaisant, cas notamment du faciès sous *Avicennia m. et Xylocarpus g.* mais en milieu défavorisé, il est élevé et avoisine 29 indiquant une mauvaise décomposition de la matière organique notamment sous *Rhizophora mucronata*. où il y a engorgement d'eau et plus d'acidité.

Les sols sont moyennement acides à neutres avec un pH-eau moyen de 6,8.

Concernant les bases échangeables Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ et Na^+ , leur somme oscille respectivement autour de 56,65 ; 57,26 et 59,46 $cmol^+.kg^{-1}$ pour les profondeurs comprises entre 0 et -20 ; -20 et 40 et -40 et -60cm. Elle est élevée à cause de la quantité élevée de Na^+ .

Quant à l'acidité d'échange ($Al^{3+} + H^+$), elle est faible et sa valeur moyenne tourne respectivement autour de 0,40 ; 0,55 et 0,62 $cmol^+.kg^{-1}$ pour chacune des 3 profondeurs sus-mentionnées.

La capacité d'échange effective « T_{eff} » des sols du delta de Mangoky oscille autour de 57 à 60 $cmol^+.kg^{-1}$ pour l'ensemble des horizons compris entre 0 et -60 cm de profondeur.

Il faudrait signaler l'importance de la dynamique hydrologique dans la formation du sol du delta de Mangoky où il y a apport et sédimentation d'ordre alluvial du à l'érosion par ablation du sol ferrallitique situé en amont, et que les fronts exposés des mangroves sont plus sableux et les parties plus à l'intérieur plus argileuses.

Mots-clefs : sols, mangrove, delta Mangoky, Sud-Ouest Madagascar.

ABSTRACT

This article tries to contribute to fill gaps in Malagasy mangrove soil data. He tries to characterize the mangroves of the Mangoky delta, providing physical-chemical data of soils of this area.

For this purpose, article account to test the hypothesis that the physico-chemical characteristics of soils of the delta changes with mangrove facies encountered.

6 plant facies, function of the dominance of species, the floristic composition and geographic location to the axis of the waterways and tidal channels were investigated.

Floristic inventory for the composition of the vegetation facies of plots of 10 m x 10 m was undertaken.

Descriptions of physical aspects as the structure, color, texture, root system and then analyses physico-chemical (N, C, exchangeable bases, acidity, salinity) of soil were made.

As results: soils delta are clay- silty, they have a greater than 50% rate of clay. Having a clayey-silty texture, they contain 51% clay, 27 to 29% silt and 19-21% of sand about. It depends on the vegetal facies.

The rate of silt tends to decrease as you go down in depth (between 0 and 60cm), and unlike the case of the clay percentage increases.

The C: N ratio is average hovering around 16, indicating that the degree of evolution of organic matter is satisfactory (facies under *Avicennia m. et Xylocarpus g.*) but in underprivileged site, it is high with value around 29 indicating a bad decomposition of organic matter as under *Rhizophora mucronata*.

The soils are moderately acid to neutral with an average water - pH 6.8.

Regarding the exchangeable bases Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ and Na^+ , their sum ranges respectively around 56.65; 57.26 and 59.46 $cmol^+.kg^{-1}$ for depths between 0 and -20; -20 and 40 -40 and - 60 cm. It is high because of the high level of the Na^+ in the mangrove soil.

As the acidity of exchange ($Al^{3+} + H^+$, its average value respectively revolves around 0.40; 0.55 to 0.62 $cmol^+.kg^{-1}$ for each of the 3 depths above.

Exchange capacity effective ' T_{eff} ' soils of the Mangoky delta hovers around 57-60 $cmol^+.kg^{-1}$ for all horizons of life ranging from 0 to - 60 cm depth.

The study indicates the importance of the hydrological dynamics in the soil formation of the Mangoky delta where there are sedimentation of alluvial order of erosion by ablation of ferrallitic soil located upstream, so the soil is clayed, and the exposed fronts of mangroves are more sandy and the inside parties more clay.

Keywords: soils, mangrove, Mangoky delta, South-West Madagascar.

1. Introduction

Couvrant près de 327 000ha (Kiener, 1966 ; Rasolofo, 1993) à 340 300ha, selon la carte dressée par Faramalala (1996), les mangroves malgaches appartiennent à la région indo-pacifique et se rangent parmi les « mangroves basses » (MACNAE, 1963). Représentant 2% des mangroves mondiales (Ioniarilala, 2000), elles sont pauvres en diversité floristique : 5 familles de palétuviers seulement, selon Rasolofo (1993) ; 9 espèces caractéristiques de l'Afrique de l'Est, selon SECA (1986). 98% des mangroves malgaches sont localisées sur la côte Ouest de Madagascar (Kiener, 1972).

Très peu de données scientifiques existent sur les mangroves malgaches (Lebigre, 1984 ; ITTE/ISME, 1993), et encore moins sur les aspects pédologiques de cet écosystème. « En dépit de ce qu'une abondante littérature pourrait faire croire, ..., les marais maritimes malgaches sont très mal connus et nous n'avons pas en main les éléments d'un diagnostic certain » (Lebigre, 1984). Ce constat est particulièrement vrai pour le cas de la « très grande mangrove du Mangoky » (Kiener, 1972), un des marais nécessitant une étude prioritaire selon Lebigre (1984). Hormis les travaux de télédétection entrepris par Oliva & Salomon (1984) dans cette région, les mangroves du delta restent, du moins jusqu'à présent, non explorées et beaucoup d'efforts sont encore à déployer en matière de diagnostic écologique. Malgré les travaux menés dans d'autres localités malgaches (Derijard en 1963 ; Battistini en 1964 ; Bigot en 1971 ; Weiss en 1972 et 1973 ; Lebigre en 1984 et 1990 ; Ioniarilala en 2000 ; Rasolofoharinoro & *al.* en 1998) au nord et au sud du delta, les possibilités d'extrapolation des résultats sont encore limitées sur le plan scientifique. Les études respectives de Hervieu (1965 et 1968) et de Lebigre (1990) sur la

sédimentation fluviale et le marais maritime du Gabon et de Madagascar servent certainement de données de base pour l'ensemble des mangroves malgaches, mais celles-ci s'avèrent trop générales si l'on veut comprendre le processus pédologique des endroits particuliers tels que le delta de Mangoky ; d'où la nécessité de fournir de nouvelles données.

Etant signataire de la convention de Ramsar, Madagascar, dans le cadre de sa politique de développement durable des zones côtières, s'attèle au principe de la gestion intégrée des zones côtières (GIZC) communément utilisé dans les accords et traités internationaux tels issus des CNUED, COP, IPCC, La mise en œuvre d'une GIZC nécessite avant tout un « diagnostic environnemental », selon CRG (1999) & GESAMP (1996). En outre Dugan (1992) soulignait la nécessité d'augmenter et de communiquer les données quantitatives et qualitatives relatives aux zones humides africaines ; il proposait même que le diagnostic y afférent devait faire partie intégrante d'une politique nationale de conservation de ces zones.

Le présent article essaie d'apporter sa contribution pour combler les lacunes observées en matière de données pédologiques des mangroves malgaches. Il essaie de caractériser la mangrove du delta de Mangoky, en fournissant des données physico-chimiques propres à la pédologie de cette zone. A cet effet, l'article compte vérifier l'hypothèse selon laquelle les caractéristiques physico-chimiques des sols du delta varient selon les faciès de mangrove rencontrés.

2. Matériels et méthodes

2.1. Aperçu de la zone d'étude

Le delta de Mangoky se trouve sur la côte Sud-Ouest de Madagascar, entre Morondava au Nord et Morombe au Sud. Traversé par le fleuve Mangoky, il est compris entre 43°25' et 43°48' de longitude

Est et 21°12' et 21°30' de latitude Sud. Avec près de 500mm de pluies par an, son climat est sec, de type semi-aride. Le delta appartient au vaste bassin du Mangoky (55*750km²) dont les cours d'eau prennent naissance sur les Hautes Terres malgaches.

L'ensemble de l'écosystème étudié comprend 11*790ha de mangrove, selon les images satellitaires de 2000. Sable et alluvions, reposant sur une formation géologique post-miocène, constituent ses principaux substrats pédologiques. Couverts de sable grossier rubéfié et truffé, les alluvions anciennes sont essentiellement sablo-argileuses. Par contre, les alluvions récentes du delta sont limoneuses, micacées et constituent d'excellents terrains de culture (Segalen & Moureaux, 1950).

La figure 1 donne un bref aperçu du delta, ses principaux villages et les sites étudiés dans le cadre de l'étude.

2.2. Choix des sites d'échantillonnage

Au total, 72 échantillons de sol ont été prélevés dans 24 sites à palétuviers. 2 paramètres principaux ont guidé le choix de ces sites de prélèvement :

- *Le faciès végétal.* 6 faciès ont été choisis, selon la composition floristique du site d'une part, et en fonction de la dominance effective des espèces, d'autre part (Tableau 1). Il est à noter que la dominance effective D d'une espèce est donnée par la formule :

- $D (\%) = (\text{Nombre d'individus de l'espèce considérée} \times 100) / \text{Effectif total des individus de plante contenus dans un carré de } 100\text{m}^2$

Tableau 1: Nombre de sites et d'échantillons de sols étudiés

FACIES A	DOMINANCE EFFECTIVE D DES ESPECES (%)						NOMBRE DE SITES ETUDIÉS	NOMBRE D'ECHANTILLOS PRELEVÉS
	<i>Avicennia marina</i>	<i>Rhizophora mucronata</i>	<i>Xylocarpus granatum</i>	<i>Ceriops tagal</i>	<i>Sonneratia alba</i>	<i>Bruguiera gymnorhiza</i>		
<i>Avicennia marina</i>	93.06	2.19	2.63	2.12	0	0	7	21
<i>Rhizophora mucronata</i>	0	100	0	0	0	0	3	9
Mélange <i>Avicennia marina</i> et <i>Rhizophora mucronata</i>	80.97	9.71	0.61	7.47	0	1.24	6	18
Mélange <i>Xylocarpus granatum</i> / <i>Rhizophora mucronata</i>	0	37.21	58.02	3.57	0	1.19	3	9
Mélange <i>Xylocarpus granatum</i> / <i>Avicennia marina</i>	40	0	60	0	0	0	2	6
Mélange <i>Ceriops tagal</i> / <i>Rhizophora mucronata</i>	0	23,14	9,16	50,13	0	17,58	3	9
	TOTAL						24	72

La localisation géographique du site étudié. Les lieux de prélèvement ont été choisis en fonction de leur distance par rapport à l'axe des cours d'eau et chenaux de marées. On distingue les sites en front de colonisation (localisés sur les bords des cours

d'eau) et les sites situés en arrière mangrove (Cf. figure 1).

LOCALISATION DU DELTA DE MANGOKY

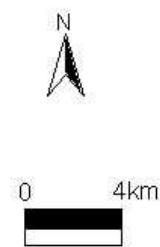
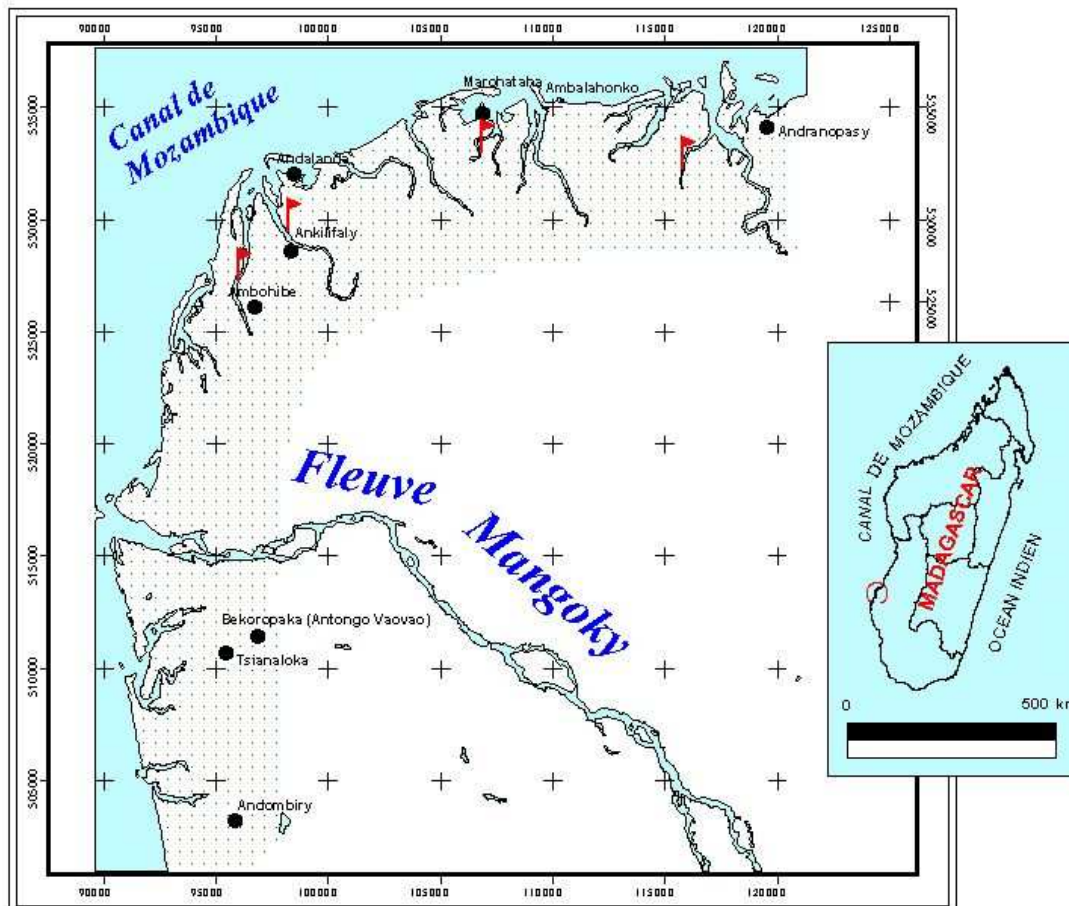


Figure 1 : Localisation de la zone d'études et des points d'échantillonnage

2.3. Techniques de prélèvement des échantillons de sol

Le prélèvement des échantillons de sol s'est effectué dans 24 parcelles de palétuvier (ce sont les sites) de 10m x 10m chacune. L'utilisation d'une pelle à vase munie d'une manche et d'un demi-cylindre à bords tranchants a été nécessaire lors de cette opération. Avec un tel instrument, il a été possible de procéder à une description de profil, sans recourir aux fosses pédologiques, lesquelles sont difficilement réalisables en milieu vaseux tel que les mangroves. De même, l'utilisation de ce type de pelle a permis de distinguer facilement les horizons, lesquels ont été prélevés, pour chaque site, entre 0-20cm ; 20-40cm et 40-60cm de profondeur.

Voici les dimensions de la pelle : diamètre du demi-cylindre : 8cm ; sa longueur : 125cm (dont 100cm de demi-cylindre). D'un poids frais moyen d'environ 500g lors du prélèvement, chaque échantillon de sol a été mis dans un sachet en plastique avant d'être transporté au laboratoire d'analyse.

Il est à noter que le prélèvement de sol proprement dit a toujours été suivi des études préalables suivantes :

- *Inventaire floristique de la parcelle forestière dans laquelle s'effectue le prélèvement*
- *Description rapide de l'environnement immédiat du lieu de prélèvement*
- *Description du profil de sol au moyen de la pelle à demi-cylindre*

$$V = [2r^2(D_s - D_l)] / 9n$$

où

r : rayon des particules supposées sphériques
D_s et D_l : densités du solide et du liquide
n : viscosité du liquide

, selon la loi de STOKES. La vitesse de décantation étant proportionnelle au carré du rayon des particules. Le sable se dépose beaucoup plus vite que le limon, ce dernier beaucoup plus vite que l'argile. Les particules ainsi obtenues ont par la suite été mesurées à l'aide d'un densimètre de Bouyoucos.

2.4. Paramètres étudiés et méthodes de mesure

Les paramètres suivants ont été étudiés pour caractériser les sols du delta de Mangoky :

- *Inventaire floristique de la parcelle forestière dans laquelle s'est effectué le prélèvement.* L'objectif de cette opération consiste à vérifier et caractériser au moyen des mesures directes la composition floristique du faciès végétal à étudier. Les travaux d'inventaire ont été réalisés dans des parcelles de 10m x 10m. Chaque individu de plante a été identifié et compté. Des chiffres exacts sur la dominance des espèces ont pu être dégagés à l'issue de cet inventaire.

- *Description de l'aspect physique du sol au moment du prélèvement.* Cette opération consiste à apprécier visuellement et à l'aide du toucher, la couleur, la texture, la structure, l'enracinement des plantes, ainsi que le degré de décomposition des matières organiques dans le sol. L'utilisation du code Munsel a particulièrement été indispensable lors de la définition des couleurs des sols étudiés.

- *Analyse de la texture au laboratoire.* Cette opération consiste à vérifier au laboratoire la proportion d'argile, de limon et de sable contenus dans un échantillon de sol. Les renseignements sur la texture ont été obtenus par procédé densimétrique. Cette technique consiste à diluer le sol dans une solution de métaphosphate de sodium. Les particules en suspension dans le liquide se décantent avec une vitesse V telle que :

- *Analyse chimique du sol au laboratoire.* Les échantillons de sol ont été séchés à l'air libre avant d'être analysés. Le tableau 2 donne un bref aperçu des principaux paramètres chimiques étudiés ainsi que la méthode d'analyse correspondante.

Tableau 2: Méthodes d'analyse des sols au laboratoire

PARAMETRES	METHODE D'ANALYSE
pH eau	Mesure sur le sol humidifié (3 mois après le prélèvement). Voici le principe de base : « la différence de potentiel créée entre une électrode de verre et une électrode de référence plongées dans la solution à analyser est une fonction linéaire du pH de celle-ci »
Carbone organique	Oxydation des carbones organiques par excès de $K_2Cr_2O_7$, puis titrage de ce dernier au moyen d'une solution de $FeSO_4$.
Azote total	Dosage utilisant la méthode KJELDHAL : chauffage de l' H_2SO_4 (destruction des matières organiques azotées à l'ébullition). L'azote transformé en ammoniac est fixé par l'acide sulfurique sous forme de $(NH_4)_2SO_4$. K_2SO_4 permet d'élever la température d'ébullition à $430^\circ C$. Le procédé utilise $CuSO_4$ comme catalyseur. NH_3 est ensuite déplacé au moyen d'une solution d'hydroxyde de sodium ; il est entraîné par vaporisation pour se fixer à l'état de borate, lequel est enfin dosé au moyen d'une solution titrée d'acide sulfurique.
Salinité	Extraction d'une solution aqueuse diluée au 1/10 et mesure de la conductivité au moyen d'un conductimètre électronique
Extraction et détermination des bases échangeables	Le sol est mis en contact avec une solution molaire et neutre d'acétate d'ammonium. Les cations basiques échangeables sont extraits dans la solution, tandis qu'une partie de NH_4^+ est adsorbée par le sol selon l'équilibre ci-dessous : $Sol-M + NH_4^+(solution) \rightarrow Sol-NH_4^+ + M(solution)$ où M signifie « cation base échangeable » Les cations basiques ainsi extraits sont ensuite déterminés à l'aide d'un spectromètre d'absorption atomique.
Somme des bases échangeables S	$S = Ca^{++} + Mg^{++} + K^+ + Na^+$
Acidité d'échange AE	$AE = Al^{3+} + H^+$
Capacité d'échanges cationiques effective T_{eff}	$T_{eff} = S + AE = Ca^{++} + Mg^{++} + K^+ + Na^+ + Al^{+++} + H^+$ (selon ESPIAU)
Taux d'acidité d'échange TAE	$TAE = [(Al^{3+} + H^+) \times 100] / T_{eff} = [(T_{eff} - S) \times 100] / T_{eff}$ (selon ESPIAU et PEYRONEL)

Il est à noter que toutes les analyses physiques et chimiques effectuées dans le cadre de cette étude ont été effectuées au laboratoire pédologique du FOFIFA à Tsimbazaza Antananarivo.

3. Résultats

3.1. Des sols argilo-limoneux

L'analyse granulométrique de l'ensemble des échantillons prélevés montre que les sols du delta présentent un taux d'argile supérieur à 50%. Ayant une texture argilo-limoneuse, ils contiennent 51% d'argile, 27 à 29% de limon et 19 à 21% de sable environ.

Mais ces proportions granulométriques varient sensiblement de 2 à 4% en fonction de la couverture végétale, d'une part ; et selon la profondeur des sols, d'autre part (Cf. graphes de la figure 2). En effet, sous *Avicennia marina* pur, le taux d'argile diminue au fur et à mesure qu'on descend en profondeur (de 0 à -60cm), et ce, contrairement à celui du sable. Par contre, la

proportion de matière fine augmente inversement avec celle de la partie sableuse sous *Rhizophora mucronata* pur. Quant au limon contenu dans les sols étudiés, son taux reste à peu près le même sous les deux types de couvert végétal.

Sous groupement mixte à *Xylocarpus granatum*, la portion sableuse fluctue sensiblement au niveau des différentes profondeurs de sol. Le taux de limon tend à diminuer au fur et à mesure qu'on descend en profondeur (entre 0 et 60cm), et ce, contrairement au cas de l'argile dont le pourcentage augmente entre -20 et -60cm.

Sauf sous *Avicennia marina* pur, tous les échantillons étudiés montrent que la décantation des particules fines semble être effective dans le delta. Ce phénomène est marqué par le dépôt d'argile dans les 60 premiers centimètres au moins.

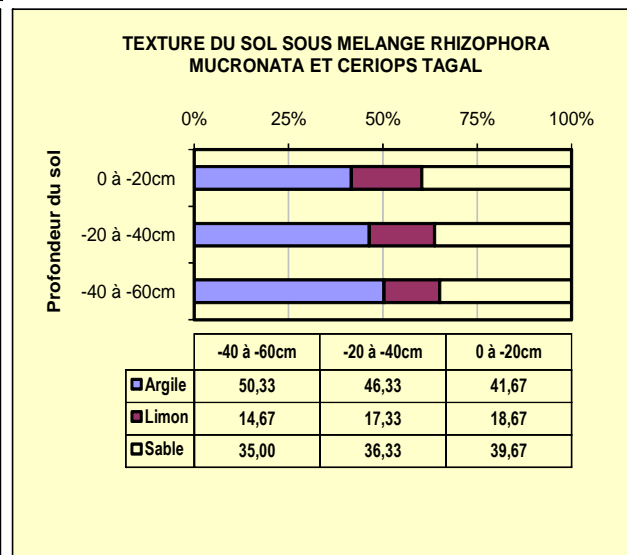
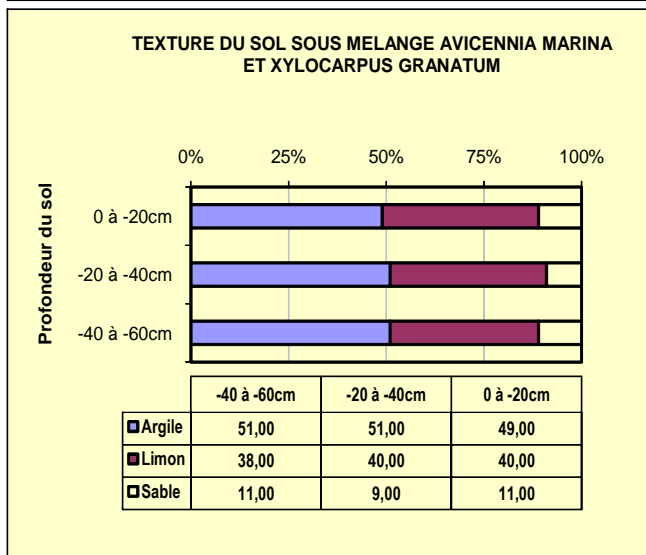
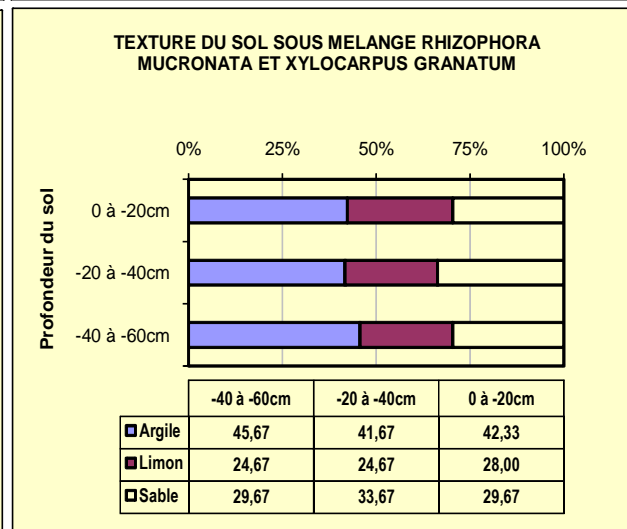
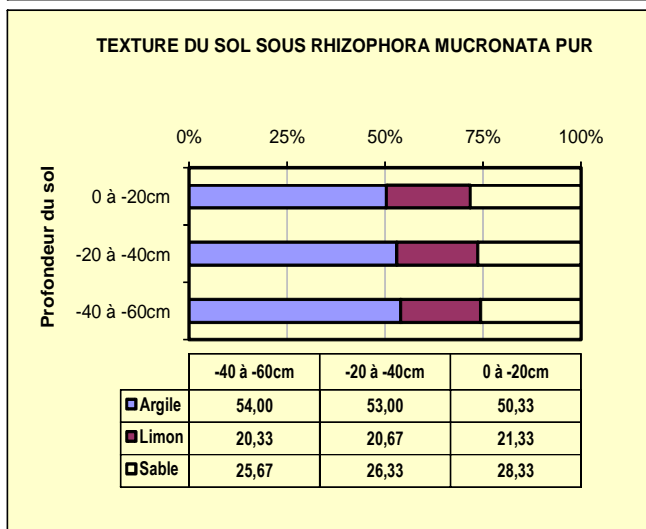
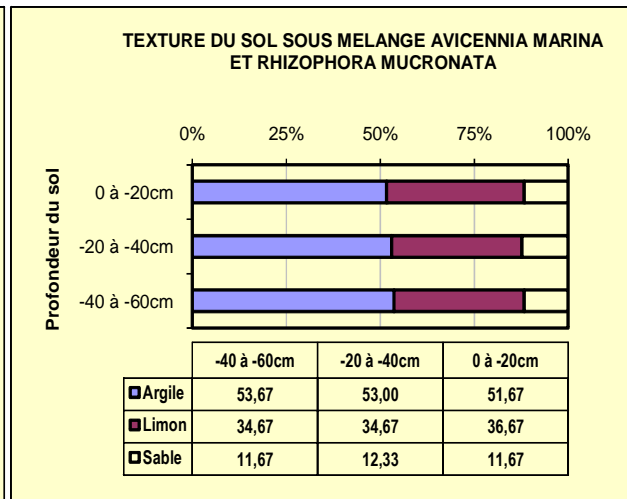
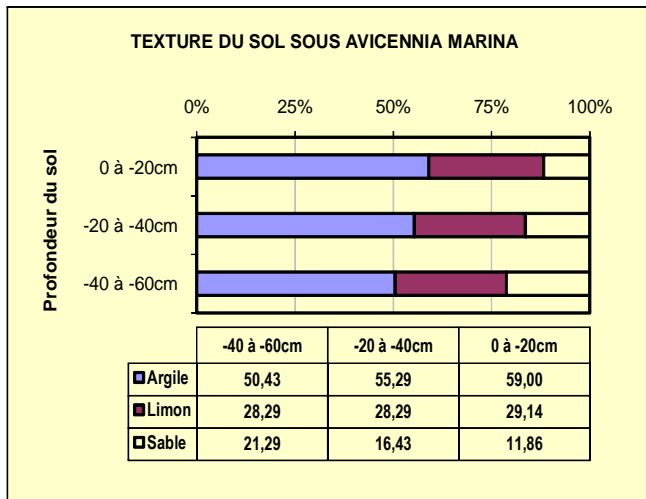


Figure 2: Texture des sols sous différents faciès de mangrove

3.2. Des sols moyennement acides à neutres

Ayant un pH-eau moyen de 6,8, les sols du delta de Mangoky sont généralement acides à neutres. D'après les graphes de la figure 3, les valeurs du pH diminuent jusqu'à 0,3 unité environ, au fur et à mesure qu'on descend en profondeur (au moins jusqu'à -60cm).

L'acidification en profondeur est toujours vérifiée pour tous les échantillons étudiés, sauf pour le cas des sols prélevés sous groupement mixte à *Xylocarpus granatum* et *Avicennia marina* (Figure 3). En effet, d'une valeur égale à 6,71 dans les 20 premiers centimètres, le pH de cet échantillon descend jusqu'à 6,53 au niveau de la couche intermédiaire de 20-40cm ; puis il monte au delà des 40 premiers centimètres pour atteindre sensiblement sa valeur initiale (6,73) entre 40 et 60cm de profondeur.

Les valeurs du TAE varie d'une profondeur à une autre, et ce, en fonction de la couverture végétale d'une part, et suivant le milieu de prélèvement des échantillons, d'autre part.

Concernant les bases échangeables Ca^{++} , Mg^{++} , K^{+} et Na^{+} , leur somme oscille respectivement autour de 56,65 ; 57,26 et 59,46 $\text{cmol}^{+}.\text{kg}^{-1}$ pour les profondeurs comprises entre 0 et -20 ; -20 et -40 et -40 et -60cm. Quant à l'acidité d'échange ($\text{Al}^{3+} + \text{H}^{+}$), sa valeur moyenne tourne respectivement autour de 0,40 ; 0,55 et 0,62 $\text{cmol}^{+}.\text{kg}^{-1}$ pour chacune des 3 profondeurs sus-mentionnées.

Etant très salés (conductivité allant jusqu'à 13'250 $\mu\text{mho}/\text{cm}$), les sols étudiés présentent une quantité de Na^{+} très élevés (34 à 36 $\text{cmol}^{+}.\text{kg}^{-1}$ en moyenne, avec un maximum de 65,22 $\text{cmol}^{+}.\text{kg}^{-1}$ entre -20 et -40cm de profondeur). Il en est de même pour Mg^{++} dont la valeur est de 14 $\text{cmol}^{+}.\text{kg}^{-1}$.

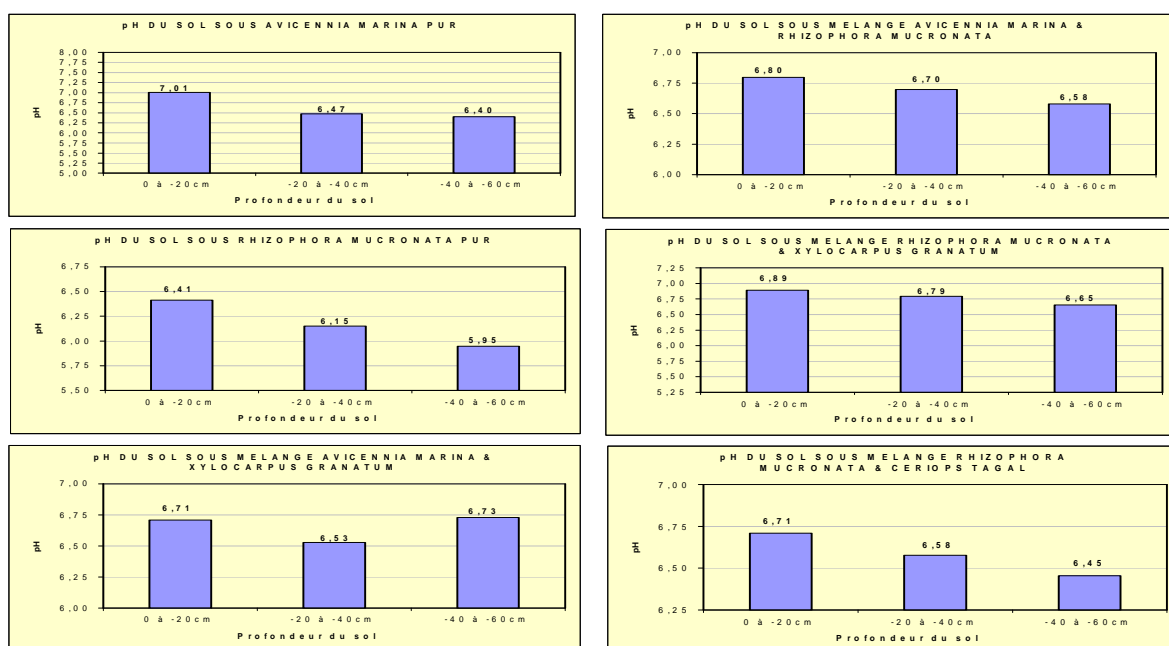


Figure 3 : pH-eau des sols sous différents faciès de mangrove

3.3. Des sols à faible taux d'acidité d'échange

Selon les résultats des analyses (Figure 4), les sols du delta présentent un taux d'acidité d'échange « TAE » très faible de l'ordre de 0,88 à 2,84%.

Au total, la capacité d'échange effective « T_{eff} » des sols du delta de Mangoky oscille autour de 57 à 60 $\text{cmol}^{+}.\text{kg}^{-1}$ pour l'ensemble des horizons compris entre 0 et -60 cm de profondeur

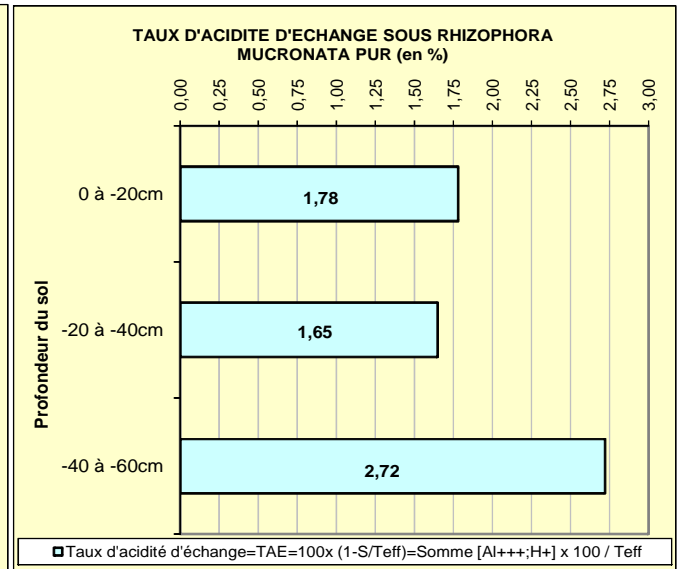
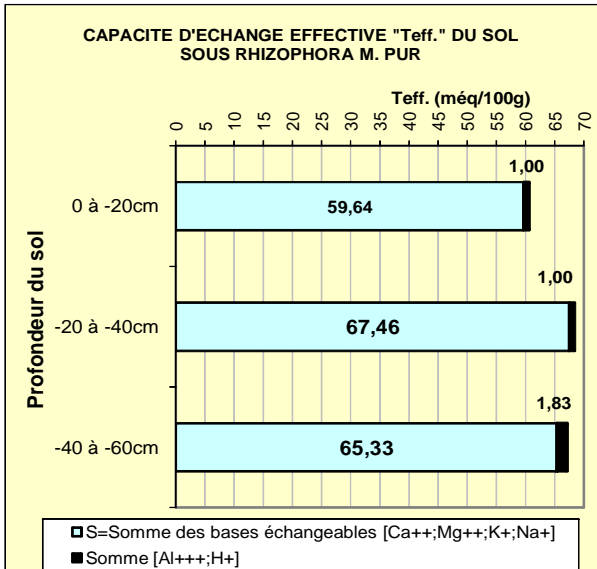
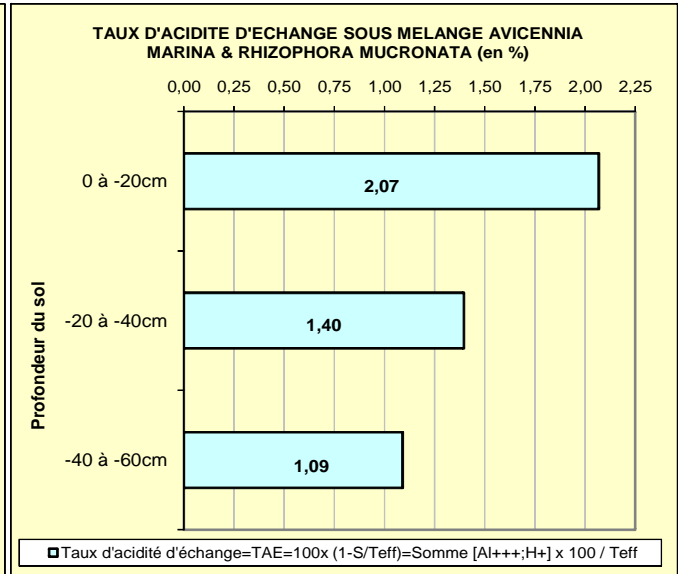
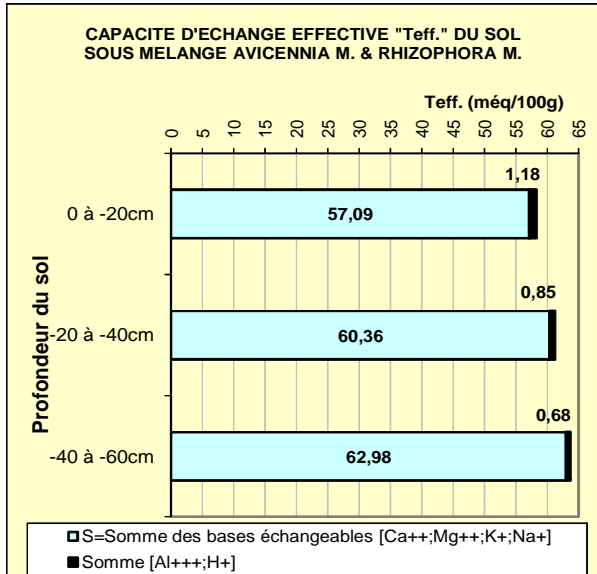
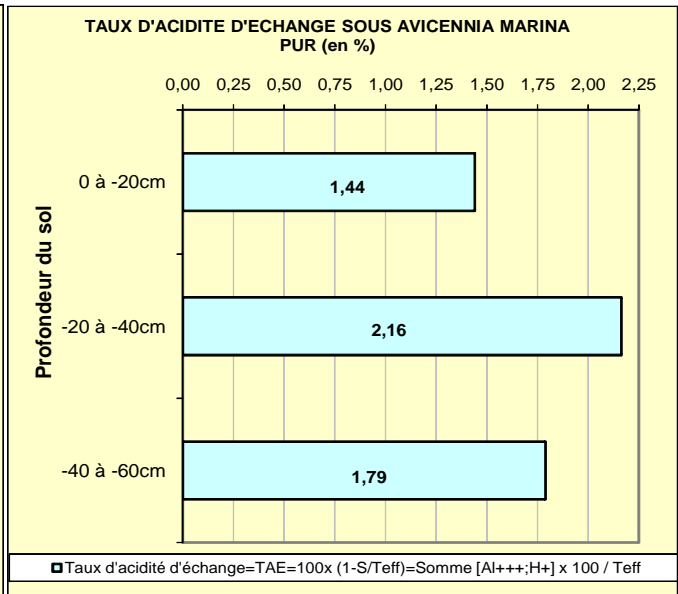
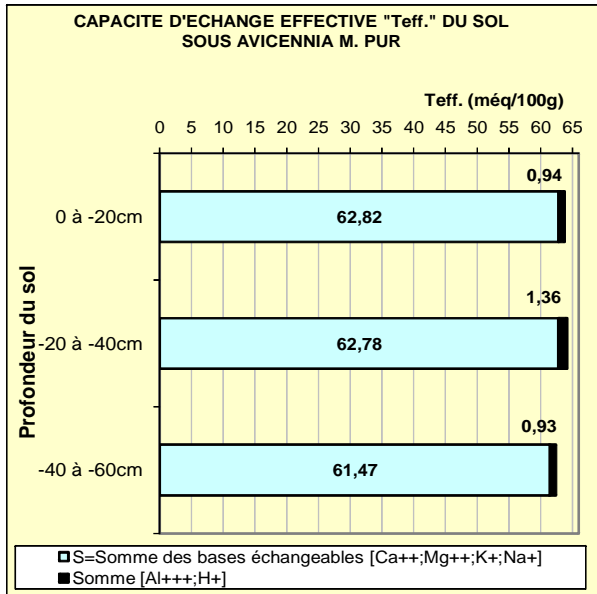


Figure 4: Etat du complexe d'échanges sous différents faciès de mangrove

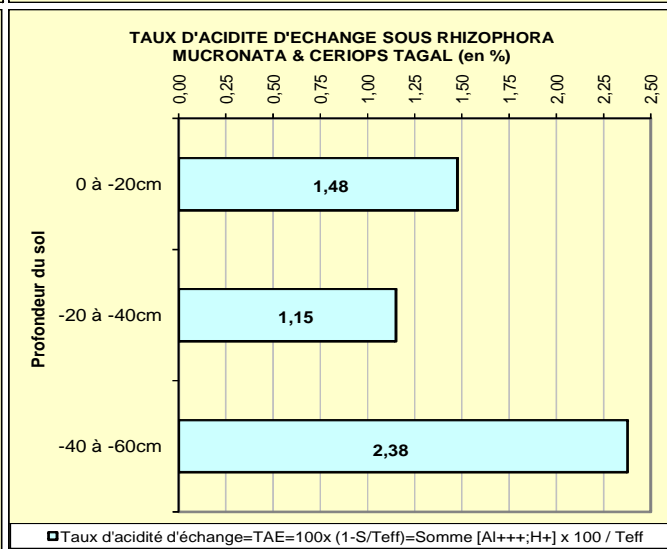
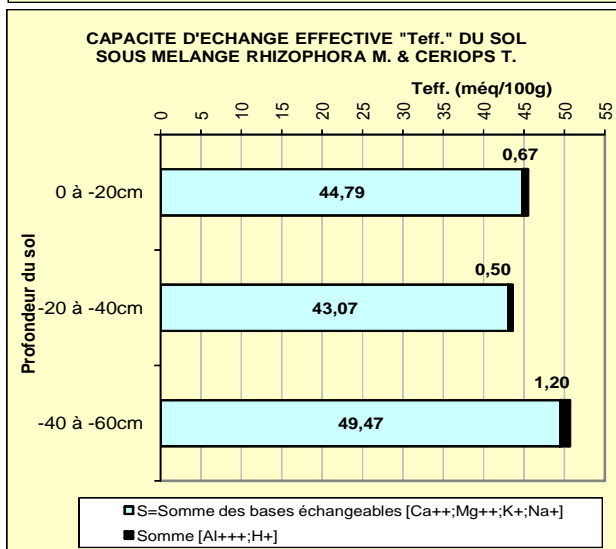
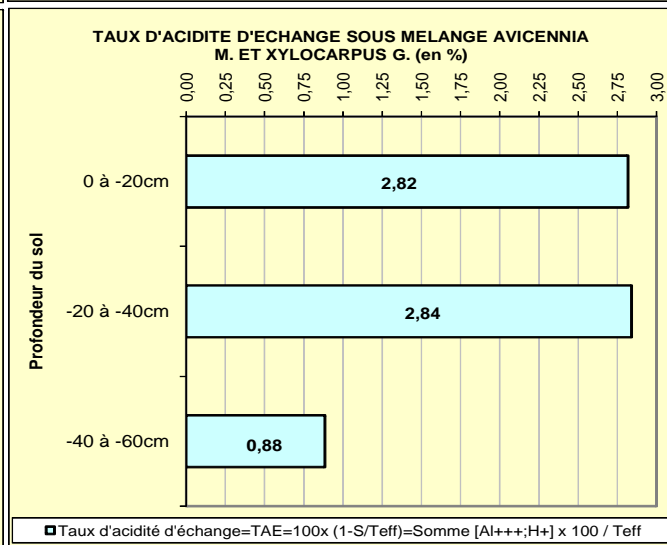
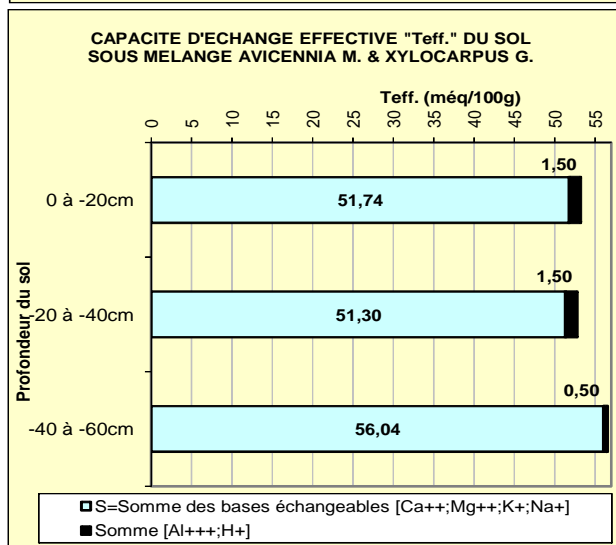
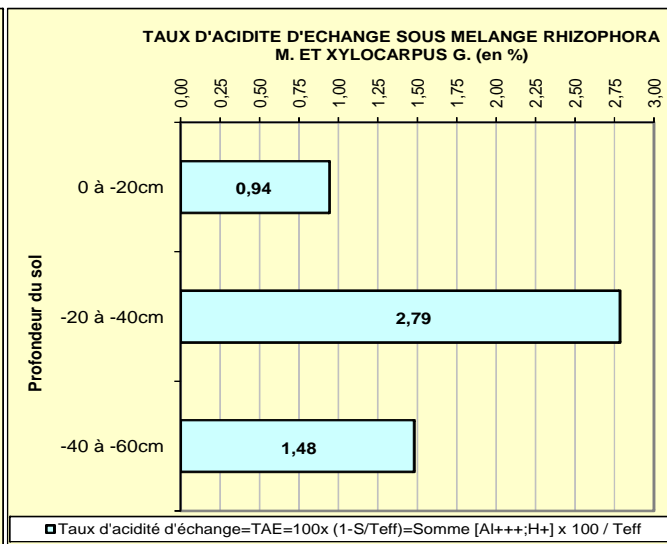
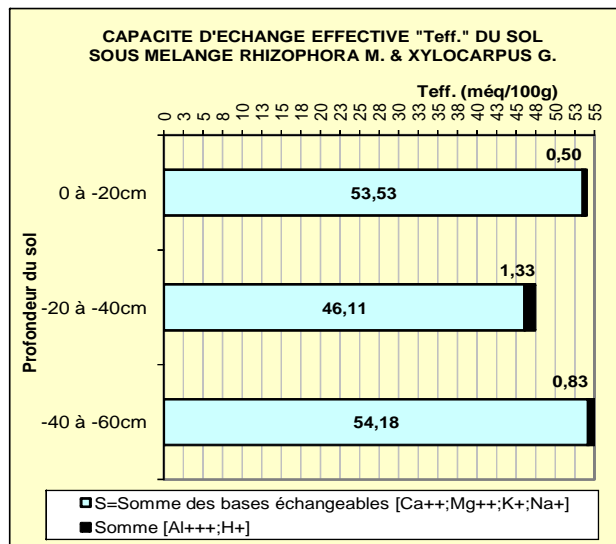


Figure 4: Etat du complexe d'échanges sous différents faciès de mangrove (suite)

3.4. Des sols généralement bien évolués

D'une manière générale, les échantillons de sol prélevés dans le delta sont bien évolués (Figure 5). Avec un rapport C/N moyen oscillant autour de 16, le degré d'évolution des matières organiques est satisfaisant. Il existe tout de même des cas où la valeur de C/N est assez élevée ; tel est le résultat obtenu sous *Rhizophora mucronata* (C/N = 29 dans les 20 premiers centimètres). Même constat pour

Avicennia marina pur où le rapport C/N s'élève à 33 au niveau de l'horizon intermédiaire -20 et -40cm, alors que celui-ci reste faible (14) dans les 20 premiers centimètres du sol.

Sous groupement mixte à *Xylocarpus granatum*, les matières organiques sont assez décomposées ; C/N oscille respectivement entre 16 et 18 ; 15 et 16 ; 2 et 15 pour les profondeurs 0 à -20 ; -20 à -40 et -40 à -60cm.

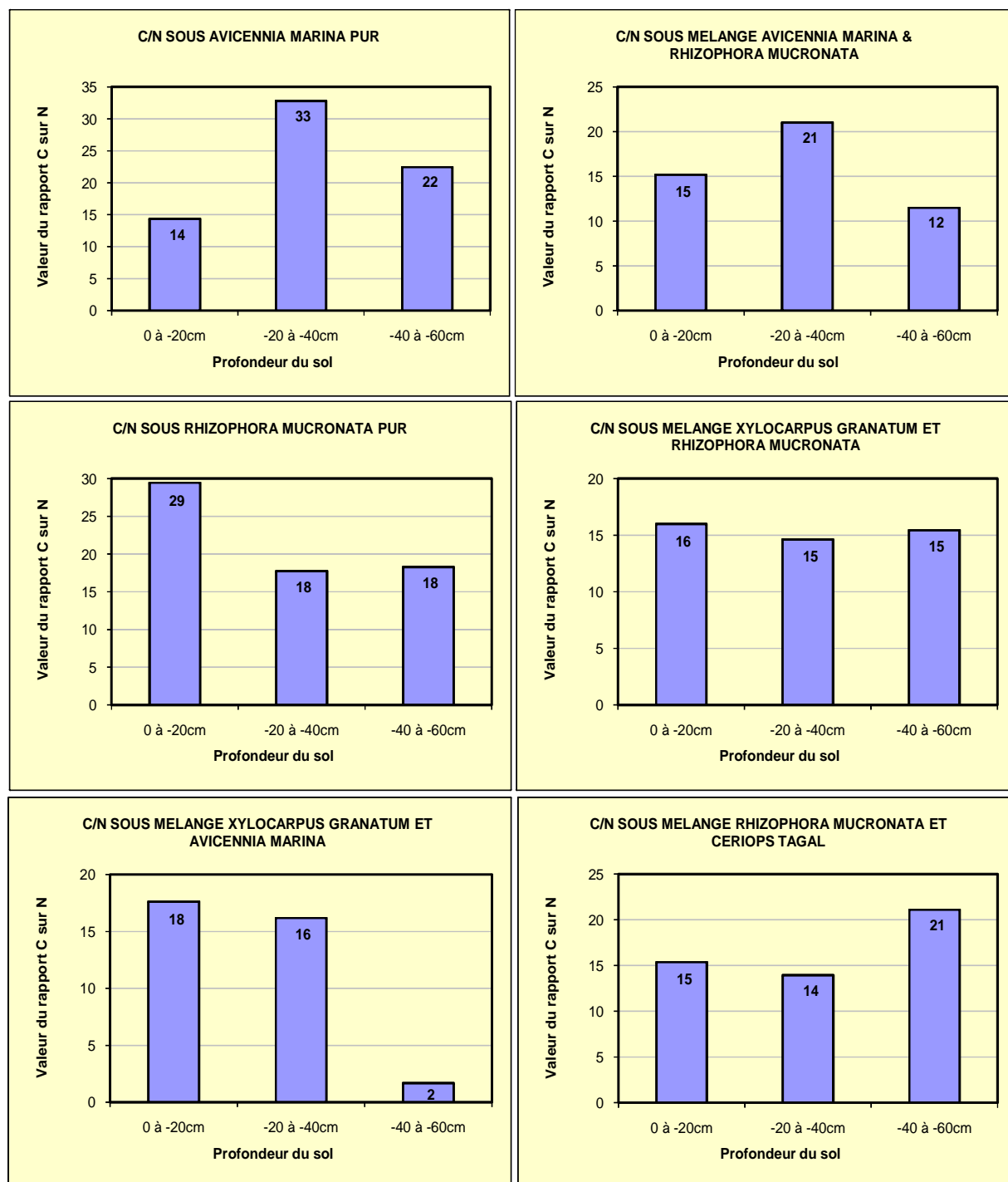


Figure 5: Rapport C/N sous différents faciès de mangrove

4. Discussions

Trois éléments fondamentaux méritent d'être discutés pour expliquer les caractéristiques physico-chimiques des sols du delta de Mangoky :

- Le mécanisme de morpho-pédogenèse dans le delta,
- Le processus de décomposition des matières organiques sous différents types de couvert végétal,
- La forte concentration du sel dans le sol.

4.1. Un mécanisme de morpho-pédogenèse fortement conditionné par la dynamique fluvio-marine des eaux

4.1.1. Sédimentation et processus pédologique

Le delta de Mangoky appartient aux vastes terrains sédimentaires de la partie occidentale malgache. Formée d'une série alternante de couches marines et de couches continentales faiblement inclinées vers le Canal de Mozambique, cette couverture sédimentaire est marquée par un relief en cuestas façonné par des dépôts fluvio-marins actuels et anciens. D'après HUMBERT et COURS DARNE (1965), « alluvions actuelles et anciennes sablo-argileuses sont observables au niveau des embouchures des fleuves de l'Ouest malgaches ».

Ces quelques constats montrent l'importance de la dynamique hydrologique dans la formation des sols du delta de Mangoky. Les mesures effectuées en septembre 2002 montrent que la quantité de matières en suspension contenues dans quelques bras du fleuve Mangoky s'élève entre 48 à 209 mg/l (valeur in situ, mesurée dans les 120 premiers centimètres de profondeur, obtenue au moyen d'un appareil portatif « multi-parameter quality monitoring system » de type « HORIBA U 20 – series U22.23 »). Ces chiffres sont plus importants en saison de pluies : jusqu'à 4kg/m³ en période de crues, contre 120g/m³ en moyennes eaux, selon CHAPERON P & al (1993). Toujours selon ces derniers, 5,5 à 19,2 millions de tonnes de matières

en suspension ont été enregistrées annuellement au niveau du fleuve Mangoky entre 1951 et 1955.

La présence des micas dans tous les profils étudiés montre l'origine continentale d'une grande partie des sédiments du delta. Cet apport d'ordre alluvial a été facilité par la dynamique hydrologique du fleuve Mangoky, laquelle est accompagnée d'une ablation moyenne de 0,15mm au niveau de l'ensemble du bassin versant de Mangoky (plus de 55 000 km²), selon CHAPERON P. & al. (1993). Il se pourrait alors que l'argile contenue dans les sols du delta provienne partiellement des Hautes Terres Centrales malgaches. Vu la nature ferrallitique des sols d'origine, on suppose que cette argile soit, avant tout, de type kaolinite avant d'être des illites ou des chlorites.

4.1.2. Sédimentation et texture des sols

Les graphes de la figure 2 montrent que, sauf sous formation à *Xylocarpus granatum*, le pourcentage d'argile contenue dans les sols augmente en profondeur. Ce phénomène s'explique par le mécanisme de décantation même de l'argile lors d'une sédimentation alluviale. En effet, les éléments fins se déposent normalement en profondeur grâce à leur forte densité. Ceci est particulièrement vérifié au niveau des « poches » ou endroits moins perturbés tels que les sites 167 et 169 (Croquis de la figure 6) où les échasses de *Rhizophora mucronata* jouent un rôle important dans l'atténuation des « vagues » de marées entrantes et sortantes. Et vice-versa, ces endroits calmes, moins perturbés et mieux protégés sont favorables à l'installation de *Rhizophora m.*, lequel est peu tolérant aux fortes amplitudes écologiques.

C'est seulement après exhaussement du substrat accompagné d'un phénomène d'engraissement que l'endroit devient plus sableux. Le graphe montre que la quantité de sable sous *Rhizophora* pur augmente au fur et à mesure qu'on monte en surface. WEISS H. (1972) a remarqué dans les mangroves de Sarodrano et de Tuléar (au Sud et

Sud-Ouest de Madagascar) que les sédiments les plus grossiers occupent les zones les plus externes à une mangrove. Autrement dit, l'abondance de sable s'explique par l'importance de l'alluvionnement d'une part, et la stabilité physique du milieu en terme de perturbation, d'autre part. C'est pourquoi, le taux d'argile diminue sous *Avicennia m.*, et ce, au fur et à mesure qu'on descend en profondeur (de 0 à -60cm)

Etant une espèce pionnière, *Xylocarpus g.* préfère les stations plus exposées localisées sur le front des mangroves. La concentration d'argile en profondeur, suivie d'une diminution relative de la fraction limoneuse témoignerait une sédimentation agitée du milieu. C'est pourquoi, le taux de sable contenue dans les échantillons varie dans les différentes profondeurs.

4.1.3. Sédimentation et acidité du sol

Mais l'acidité relative du sol s'explique également par le remblaiement fluvial, dont l'importance et

la rapidité ralentiraient la stabilisation des sols et leur maturation chimique (RANAIVOSON J., 1995). En conséquence, deux phénomènes complémentaires sont à l'origine de la nature acide des échantillons étudiés :

- L'absence d'aération suffisante du sol, suite à « l'engorgement d'eau » quasi-permanent des horizons. Ceci s'explique entre autres par les marnages et leur amplitude en terme d'immersion et d'émersion. Ce problème d'aération constitue un facteur de blocage dans la dégradation du carbone organique. C'est pourquoi, le rapport C/N reste élevé sous *Rhizophora mucronata* pur où la partie superficielle du sol est soumise aux eaux de marée. Ceci contribue plus ou moins à l'acidification du sol, laquelle ralentit à son tour la décomposition des matières organiques.

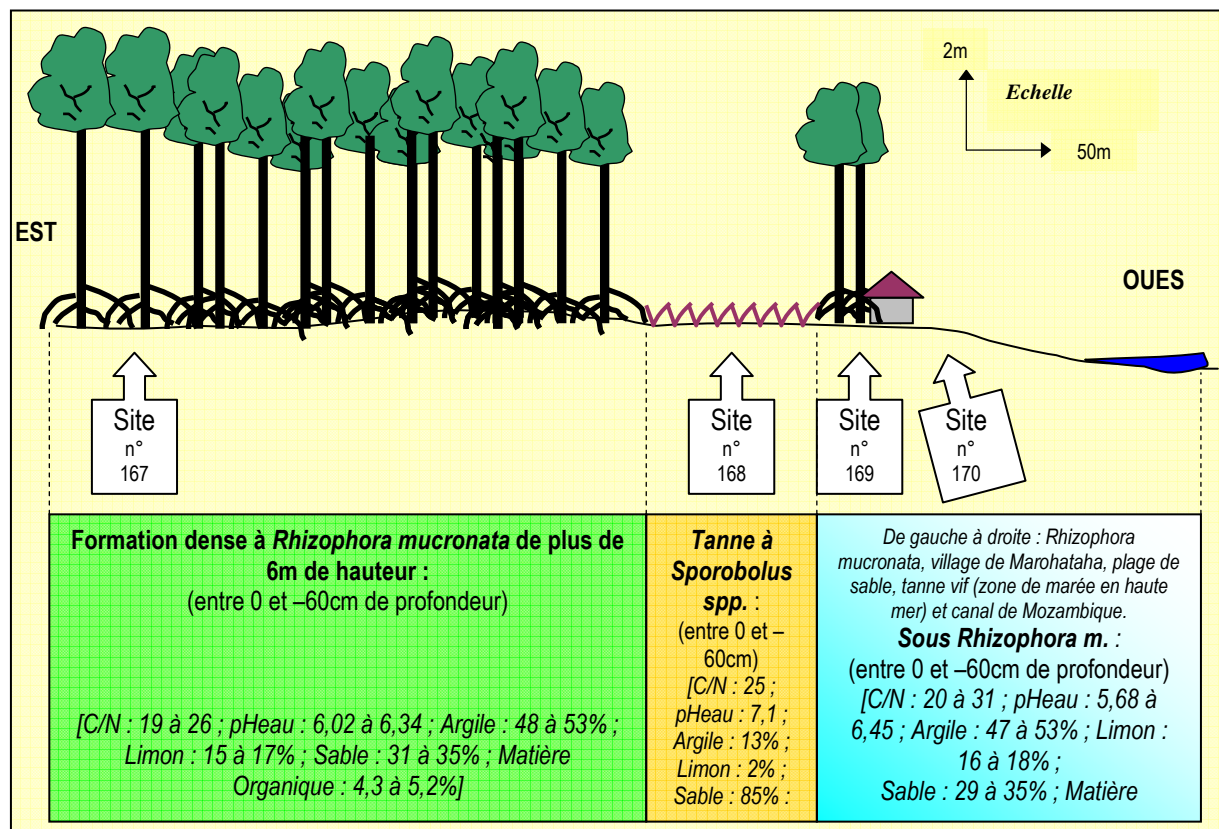


Figure 6: Croquis du transect Est-Ouest réalisé à Ambohibe (Delta de Mangoky)

- Comme les graphes des figures 3 et 5 ne montrent pas la relation directe entre le rapport C/N et l'évolution du pH en profondeur, il est clair que ce phénomène d'acidification soit en rapport avec l'acidité d'échange. Par rapport aux autres types de couvert végétal, c'est sous formation à *Rhizophora m.* que la quantité de $[Al^+ + H^+]$ devienne « plus significative ». C'est sous cette formation, notamment dans les 20 premiers centimètres de profondeur, que les feuilles et brindilles mortes sont assez importantes. Son horizon superficielle peut contenir jusqu'à 4,3 à 6,6% de matières organiques. Or les conditions écologiques du milieu ne favorisent pas assez la décomposition de ces dernières : engorgement d'eau, état physique résistant des feuilles de *Rhizophora m.*, forte salinité (12'500umho/cm) et forte concentration de sodium Na^+ (30,43 à 37,83 $cmol^+.kg^{-1}$), faible porosité en surface et structure collante de l'horizon. Tous ces paramètres contribuent à l'acidification relative du sol. Dans la plupart des échantillons étudiés, l'exhaussement du substrat s'effectue assez rapidement, et ce de manière à ce que les matières organiques n'ont pas le temps de se décomposer correctement. C'est pourquoi, tous les graphes, sauf sous formation à *Xylocarpus g.*, montrent que le pH du sol diminue au fur et à mesure qu'on descend en profondeur.

4.1.4. Degré de décomposition des matières organiques non uniforme par endroit

La décomposition des matières organiques varie d'un endroit à un autre comme elle change d'une profondeur à une autre. Elle est généralement assez satisfaisante (C/N = 14) dans les 20 premiers centimètres des sols sous *Avicennia marina* où les matières organiques sont parfois moins abondantes. En effet, malgré la fréquence élevée des immersions, les sols restent assez bien aérés grâce

aux pneumatophores d'*Avicennia* et aux pores laissées par les microfaunes.

Par contre, le rapport C/N monte parfois jusqu'à 29 dans les 20 premiers centimètres des sols sous *Rhizophora m.*, suite à l'abondance des carbones organiques mal décomposées (Cf. figure 5). En effet, les échantillons de sol présentant cette caractéristique appartiennent aux zones vaseuses peu aérées et moins exposées.

En bordure des mangroves (Cf. sol sous *Xylocarpus g.*), les sols sont bien évolués. Malgré leur forte exposition, le processus de sédimentation se ralentit progressivement grâce à l'exhaussement du substrat lors d'un engraissement. Les conditions écologiques du milieu deviennent de plus en plus favorables à la dégradation du carbone organique ; les feuilles et brindilles de *Xylocarpus g.* sont facilement dégradables que celles de *Rhizophora m.* ; le sol devient bien aéré grâce à la diminution de la fréquence et de la durée d'immersion de la partie exhaussée ; en outre, l'abondance de la fraction limoneuse (38 à 40% de limon) et sableuse (9 à 11% de sable) dans le sol contribue à l'aération de ce dernier (bonne porosité des différents horizons). C'est pourquoi, jusqu'à -60cm de profondeur, le pH du sol monte de 0,02 unité sous formation à *Xylocarpus g.*. Cette diminution sensible de l'acidité du sol se traduit par une chute spectaculaire de l'acidité d'échange $[Al^+ + H^+]$ de l'ordre de 33% d'une part, et d'une augmentation de la somme des bases échangeables de l'ordre de 108%, d'autre part.

4.1.5. Une forte concentration de sel

La faible acidité, voire neutralité du sol est partiellement lié à l'abondance de sel dans les échantillons. Les graphes de la figure 2 montrent que, sauf sous *Xylocarpus g.*, le pH diminue au fur et à mesure qu'on descend en profondeur. Sous certaines formations, on assiste à une concentration

du sel en profondeur (ex. sous mélange *Rhizophora m.* & *Ceriops t.* où la conductivité passe de 11'750 profondeur ; il en est de même pour le cas du mélange *Xylocarpus g.* & *Avicennia m.* où la conductivité passe de 12'000 à 13'250 umho/cm). Ce phénomène de salinisation en profondeur est accompagné d'une augmentation du taux de Na⁺ dans les horizons (augmentation de l'ordre de 4 cmol⁺.kg⁻¹ entre 0 et -60cm de profondeur).

Dans certains sites, la montée de sel en surface s'explique par la forte exposition de ces derniers. Sous une formation dense à *Rhizophora m.*, par exemple, le taux de Na⁺ passe respectivement de 40,58 à 36,23 cmol⁺.kg⁻¹ au niveau des horizons 40-60cm et 0-20cm. En effet, le « dessèchement » en surface, symbolisé par des crevasses au niveau des sols des arrières mangroves peu concernées par les eaux de marée, fait augmenter la quantité de Na⁺ d'une valeur de 17 cmol⁺.kg⁻¹ environ (cas d'un site à *Avicennia marina* pur en voie de régression).

Mais la forte présence de sel notamment du Na⁺, dans les échantillons a beaucoup influencé les résultats d'analyse relatifs aux valeurs de la capacité d'échange des sols étudiés. Suite à cette forte salinisation, il est fort probable que la somme des bases échangeables présentée dans les graphes de la figure 5 ne représente pas la totalité des cations disponibles dans le sol.

Des comparaisons peuvent être effectuées au niveau des sites caractéristiques. D'après les graphes, il semble qu'il n'y ait pas de corrélation possible entre l'évolution verticale des pH et celle du TAE. Par contre, des liens peuvent être décelés entre le rapport C/N et le taux d'acidité d'échange. Ceci signifie que la disponibilité en ions positifs serait fonction du degré de décomposition des matières organiques. Plus le sol est évolué, moins les horizons libèrent de l'acide et vice-versa. Il en est de même pour la capacité d'échange cationique de

à 13'250 umho/cm entre 0 et -60cm de sols, laquelle dépend du degré d'oxydation de la matière organique : plus il est fort, plus il y a de groupes carboxyles acides dans le sol.

5. Conclusion

Le processus morpho-pédologique du delta de Mangoky est fortement lié à la dynamique de sédimentation fluvio-marine. L'article a pu démontrer qu'il existe un lien plus ou moins évident entre le type de couvert végétal et les caractéristiques physico-chimiques des sols. La nature physico-chimique de ces derniers dépend même de l'exposition du faciès végétal et de sa composition floristique, du processus de décomposition des plantes, ainsi que du processus de sédimentation.

D'une manière générale, les sols du delta sont assez évolués sous *Avicennia m.* et *Xylocarpus g.* ; le degré de décomposition de leurs matières organiques s'avère satisfaisant suite au faible apport en carbone organique dans le sol, d'une part, et à l'aération relative de ce dernier lors des marnages, d'autre part. Par contre, les débris de végétaux et animaux sont très abondants sous *Rhizophora m.* ; les sols y sont moins aérés et les carbones peu dégradés.

La présence de micas dans tous les horizons des sols étudiés montre l'importance des faits continentaux dans le processus de pédogenèse du delta de Mangoky. A ce titre, il serait intéressant de répondre à un certain nombre de questions : l'argile trouvée dans les sols du delta est-elle néoformée ou d'origine continentale ? Quel serait l'impact de la dégradation des bassins versants continentaux situés en amont du delta sur le processus morpho-pédologique de l'écosystème ? Autant de questions qui méritent réflexion.

REFERENCES CITEES

- Baize, D., 1995 : « Guide pour la description des sols ». INRA, Paris
- Baize, D., 2000 : « Guide des analyses en pédologie : choix, expression, présentation, interprétation ». INRA, Paris
- Blasco, F., 1991. Aménagement d'écosystèmes forestiers fragiles. Revue Forestière Française, Actes du 10e Congrès Forestier Mondial, Paris 17/26 sept. 1991, 4 : 383-390.
- Chaperon, P. & al., 1993 : « Fleuves et rivières de Madagascar ». Monographie hydrologique 10. ORSTOM, MRS, MTM, Paris 1993
- Derijard, R., 1963. Contribution à l'étude du peuplement des sédiments sablo-vaseux et vaseux intertidaux compactés ou fixés par la végétation de la région de Tuléar. Etudes malgaches, XVII, Université de Madagascar : 1-94.
- Dugan, P. J., 1992. Wetlands management : a critical issue for conservation in Africa. Wetlands Conservation Conference for Southern Africa (IUCN Wetlands Programme) : 1-8.
- Faramalala, M. H., 1996. Carte des Formations Végétales de Madagascar. 1: 1 000 000, 3 sheets. I.C.I.V., Toulouse, France.
- Humbert, H. & al., 1965 : « Notice de la carte de Madagascar. Extraits des travaux de la Section Scientifique et Technique de l'Institut Français de Pondichéry. Hors série, n° 6, 162p.
- Ioniirilala, R., 2000. Les impacts écologiques de la crevette-culture industrielle sur l'écosystème mangrove, cas de la région de Besalampy. Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques de l'Université d'Antananarivo, Madagascar, 90 pp.
- Kiener, A., 1966. Contribution à l'étude écologique et biologique des eaux saumâtres malgaches. Vie et milieu 16 : 1013-1149.
- Kiener, A., 1972. Ecologie, biologie et possibilités de mise en valeur des mangroves malgaches. Bulletin de Madagascar 308 :49-80.
-
- Lebigre J.M., 1984 : « Problématique de recherches sur les marais maritimes de Madagascar en vue de leur protection et de leur aménagement » in *Madagascar, Revue de Géographie* n° 44, jan-juin 1984
- Lebigre J.M., 1988: "Le Marais maritime de la Tsiribihina à Madagascar" in *Bois et Forêts des Tropiques*, 215, 37-60
- Lebigre J.M., 1990: "Les marais maritimes du Gabon et de Madagascar: Contribution géographique à l'étude d'un milieu tropical". Thèse Doctorat d'Etat, Institut de Géographie, Université Bordeaux III, 704p, (3 livres)
- Macnae, W., 1963. Mangrove swamps in South Africa. *Journal of Ecology* 51 : 1-25.
- Oliva P. & Al., 1984 : « Le delta de Mangoky et sa région – Madagascar – cartographie par télédétection spatiale ». Travaux et Documents de Géographie Tropicale ; CEGET 51: 169-197
- Rasolofo, V.M., 1993. Les mangroves de Madagascar. In Diop, E.S. (ed.) Conservation et utilisation rationnelle des forêts de mangrove de l'Amérique Latine et de l'Afrique, II ITTO/ISME Project PD114/90 (F) : 248-265.
- Rasolofoharinoro, M., F. Blasco, M.F. Bellan, M. Aizpuru, T. Gauquelin & J. Denis, 1998. A remote sensing based methodology for mangrove studies in Madagascar. *International Journal of Remote sensing* 19 : 1873-1886.
- SECA, 1986. Les mangroves d'Afrique et de Madagascar, protection et mise en valeur. Rapport du Centre d'Etudes de l'Environnement, Université de Leyde, 24 pp.
- Segalen & Moreaux, 1950 : « Notice de la carte pédologique du Bas Mangoky, série D, tome II.
- Weiss, H., 1972. Etude phytosociologique des mangroves de la région de Tuléar, Madagascar. Laboratoire de Phytosociologie et cartographie. Université Marseille-St-Charles, France, TETHYS 3: 297-313