

C. MARIUS

**PROPOSITIONS POUR  
UNE CLASSIFICATION  
ET CARTOGRAPHIE DES SOLS  
DE MANGROVES TROPICALES**

AVRIL 1977

---

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

---

---

CENTRE O.R.S.T.O.M. DE DAKAR

---



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE DE DAKAR

PROPOSITIONS POUR UNE CLASSIFICATION ET CARTOGRAPHIE DES SOLS  
DE MANGROVES TROPICALES

par

C. MARIUS

DIFFUSION INTERIEURE

COPYRIGHT O.R.S.T.O.M.

/ AVRIL 1977 /

## S O M M A I R E

	<u>PAGES</u>
INTRODUCTION .....	1
Ecologie des Mangroves .....	2
Géogenèse-Pédogenèse .....	5
Classification des sols de Mangroves .....	13
Cartographie .....	17
Exemples de profils de sols de Mangroves .....	21
Conclusion .....	26
Bibliographie .....	27

PROPOSITIONS POUR UNE CLASSIFICATION ET CARTOGRAPHIE DES SOLS  
DE MANGROVES TROPICALES

- - - - -

C. MARIUS

-:-:-

INTRODUCTION :

Dans un numéro des Cahiers ORSTOM de la Série Pédologie, nous avons présenté en 1967, avec J.F. TURENNE, un article sur la classification et la caractérisation des sols formés sur alluvions fluvio-marines récentes dans les Guyanes, en y proposant notamment de répartir ces sols à l'intérieur des classes des sols minéraux, des sols peu évolués et plus rarement des sols hydromorphes, mais jamais dans la classe des sols halomorphes.

Depuis, notre expérience des sols des mangroves s'est accrue et surtout diversifiée, à la suite de notre séjour au Gabon d'une part, et de notre affectation au Sénégal d'autre part, où notre programme de recherches est uniquement axé sur l'étude de la Genèse et de l'évolution de ces sols.

Par ailleurs, nous avons pu analyser, à DAKAR, de nombreux profils de sols de mangroves de l'INDE, prélevés par F. BLASCO, avec qui nous avons observé quelques profils dans la mangrove de PICHAVARAM (Delta de la Cauvery, au Sud de l'INDE). Or, s'agissant de la classification des sols, en général, et de celle des mangroves en particulier, on notera que la dernière édition de la classification française remonte à 1967 (C.P.C.S.) où rien n'a été prévu pour ces sols, alors que, parallèlement, la classification américaine, dans son édition de 1970 et celle de la F.A.O. pour la légende de la carte des sols du Monde ont toutes deux, pris en compte les sols de mangroves, pour lesquels elles ont prévu des groupes et des sous-groupes dont nous aurons l'occasion de reparler plus loin.

## I - ÉCOLOGIE DES MANGROVES

La mangrove, avec ses particularités structurales et physiologiques, sa large distribution dans le monde tropical (à l'exception de l'Australie), son importance économique - principalement pour la riziculture - a intéressé depuis fort longtemps phytogéographes, forestiers, sédimentologues, pédologues etc..., et il est impossible de traiter des sols de mangroves sans parler de la végétation et de l'écologie des espèces qui composent cette mangrove. Aussi lui avons-nous déjà consacré une étude bibliographique à laquelle nous nous référons ici.

La mangrove est une formation végétale halophile caractéristique des estuaires et deltas des régions tropicales soumises à l'action de la marée. Les espèces qui la composent sont désignées sous le terme de : palétuviers. À cette mangrove, sont généralement associées dans les zones inondées plus ou moins périodiquement en cours d'année, soit par les marées, soit par les pluies des marais (marais d'eaux saumâtres, marais d'eaux douces). L'ensemble de ces zones qui forment transition entre le domaine maritime et le domaine continental correspond à ce qu'on appelle improprement : "zone de mangroves", ou "mangroves".

Du point de vue des espèces, on observe une nette différence dans la répartition mondiale entre les mangroves de la zone atlantique (Afrique Occidentale et Amériques) et celles des côtes indo-pacifiques, ces dernières - et surtout celles d'INDONESIE et de MALAISIE - dépassent largement les autres en richesse floristique. C'est ainsi que l'on a, pour les espèces dominantes :

### Mangroves atlantiques

*Avicennia nitida*  
*Rhizophora racemosa*  
*Rhizophora mangle*  
*Rhizophora Harrissonii*  
*Laguncularia racemosa*

### Mangroves indo-pacifiques

*Avicennia officinalis*  
*Avicennia marina*  
*Rhizophora mucronata*  
*Rhizophora apiculata*  
*Bruguiera gymnorhiza*  
*Sonneratia alba*.

Les Rhizophora : se distinguent aisément par des racines échasses qui partent du tronc et des basses branches, un enracinement profond et dense; de radicelles fibreuses, tandis que les Avicennia possèdent des pneumatophores qui forment un véritable tapis autour des arbres et leurs feuilles sont toujours recouvertes d'une couche de sel.

À ces mangroves sont généralement associés des marais salés, saumâtres ou d'eau douce - analogues aux schœres des régions tempérées - et qui sont liés à la dégradation des mangroves et aux changements dans le régime de sédimentation, et surtout le régime hydrique. Comme pour les palétuviers, les peuplements végétaux des marais sont variables selon les régions, et nous citerons parmi les espèces les plus communes : les Cyperacées, Typhacées, Héleocharis, Sporobolus, Achrosticum, Scirpus...

L'installation des différentes associations végétales des mangroves et des marais est étroitement liée aux sols et à leur évolution. Elle est chronologique et constitue une "chronoséquence". Sa connaissance est essentielle pour la cartographie de ces zones.

Dans certaines régions (Guyanes, côte orientale de l'Inde...) c'est Avicennia qui est l'espèce pionnière et qui couvre de grandes surfaces, tandis que dans la plupart des estuaires africains, c'est Rhizophora qui est pionnier et largement dominant. Cette différence sera déjà importante dans l'orientation future de la pédogenèse des sols de ces régions.

La zonation des espèces végétales a été décrite et étudiée dans plusieurs mangroves tropicales : en Guyane (BOYE, LEVEQUE, MARIUS, SOURDAT, TURENNE), à Madagascar (HERVIEU, WEISS), en Sierra-Léone (JORDAN), en Nouvelle-Calédonie (BALTZER), en Inde (BLASCO), au Sénégal (MARIUS, VIEILLEFON) ..., au Viet-Nam (VU-VAN-CUONG), en Thaïlande (PONS, VANDERKEVIE).

Parmi les facteurs qui régissent cette zonation, on note la salinité, liée à l'influence de la marée, l'érosion et les atterrissements - phénomènes particulièrement spectaculaires sur les côtes guyanaises - et surtout le climat qui intervient par l'abondance et la répartition annuelle des précipitations qui conditionnent les apports d'eaux douces et qui, par voie de conséquence règlent la salinité des eaux interstitielles.

Des régions équatoriales très humides, aux régions tropicales sèches, à climats très contrastés, les chronoséquences varient donc selon une séquence climatique, comme l'indique le tableau ci-dessous, cité par J. VIEILLEFON et légèrement complété par nous :

Régions	Séquences			
<b>Equatorial</b>				
Cameroun Gabon	Mangrove à Rhizophora			Forêt marécageuse d'eau douce
Guyanes	Mangrove à Avicennia	Marais d'eaux saumâtres	Marais d'eaux douces	Palmarais marécageuse
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>				
<b>Tropical humide</b>				
Sierra-Léone	Mangroves à Rhizophora	Mangroves à Avicennia		Marais à halophytes
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>				
<b>Tropical Subguinéen</b>				
Guinée-Casamance	Mangroves à Rhizophora	Avicennia	Tanne* vif	Marais à halophyte
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>				
<b>Tropical sec</b>				
Saloum	Mangroves indifférenciée	Tanne vif	Tanne "herbu"	
Nouvelle- Calédonie	Mangroves indifférenciée	Marais à halophytes	Croûte algale (tanne vif)	
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>				
* <u>Le tanne</u> : est un terme vernaculaire, utilisé au Sénégal, pour désigner, une zone sursalée, sans végétation, submergée aux marées exceptionnelles et subissant une alternance annuelle d'inondation et d'assèchement.				

## II - GEOGENESE - PEDOGENESE

II<sub>1</sub>/ Géogénèse : Tous les sédiments marins récents des mangroves sont caractérisés par l'accumulation en leur sein, et plus particulièrement au niveau de racines de palétuviers, de sulfures de fer, et principalement, de pyrites.

Ces pyrites proviennent de la réduction des sulfates de l'eau de mer, en milieu anaérobie, sous l'influence de bactéries sulfato-réductrices. En effet, les mangroves tropicales représentent un milieu idéal au développement de ces bactéries du fait qu'elles sont régulièrement alimentées en sulfates, par l'eau de mer bien pourvues en matière organique par les racines de palétuviers et constamment maintenues en anaérobiose par la submersion des marées.

Les bactéries responsables de la sulfato-réduction sont de 2 genres : Désulfovibrio et Désulfatomaculum et la production de H<sub>2</sub>S ou des ions sulfures S<sup>2-</sup> est directement proportionnelle au nombre de bactéries sulfato-réductrices (RICKARD).

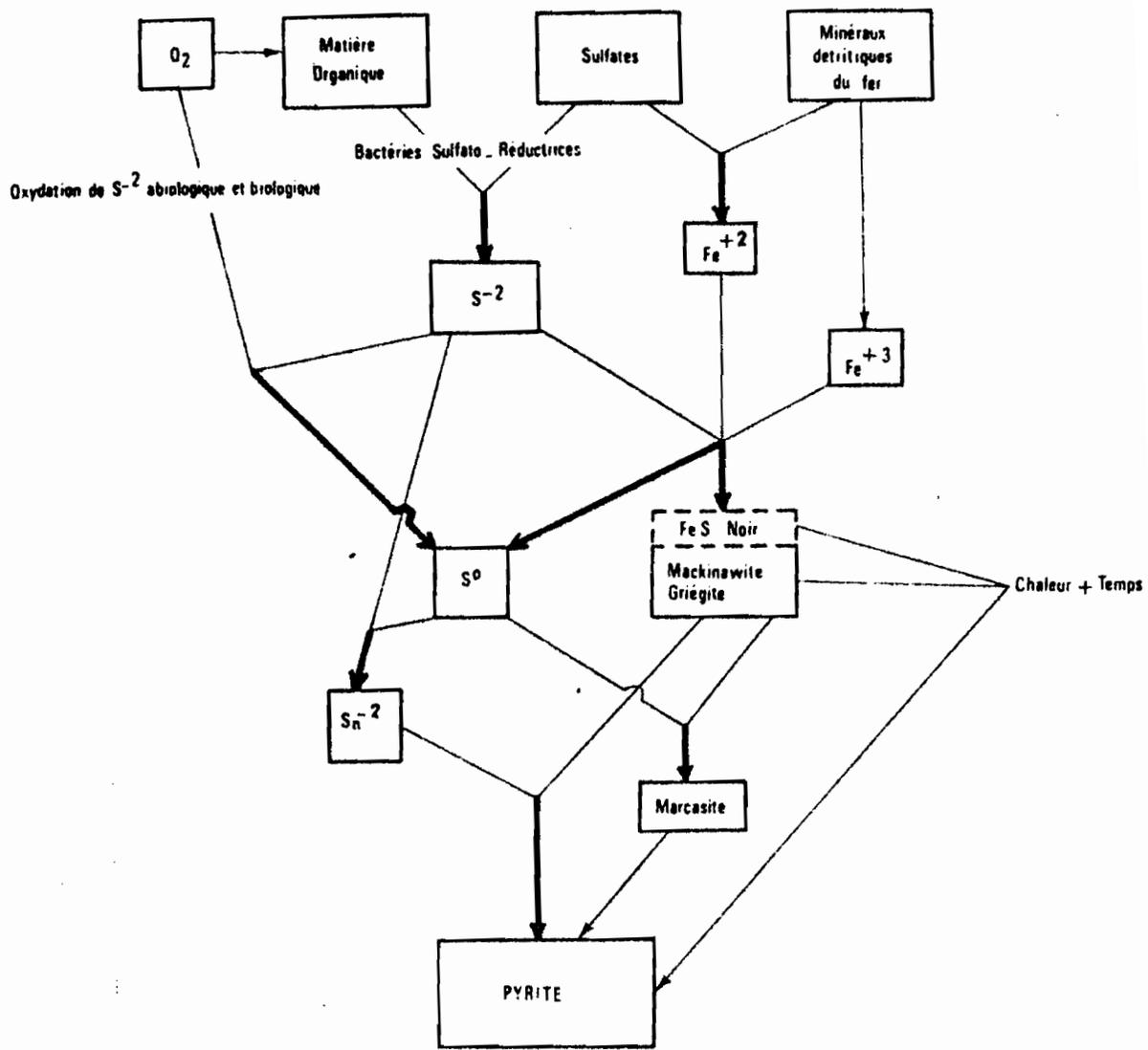
Les ions S<sup>2-</sup> formés réagissent avec le fer apporté par le sédiment - et l'on sait que les bassins versants des régions tropicales sont souvent riches en fer - pour donner la pyrite suivant la réaction :



dans laquelle FeS représente une ou plusieurs formes métastables de sulfures de fer (mackinawite, greigite). Voici, d'après RICKARD, le schéma de la formation des pyrites (Fig. 1).

Par ailleurs, PONS distingue, dans les sédiments marins 3 types de pyrites :

- la pyrite primaire qui se trouve dans la vase flottante et les dépôts très récents non fixés par la végétation ;
- la pyrite secondaire qui s'accumule dans les sédiments fixés par la végétation - et principalement sous Rhizophora - les sédiments sont alors peu ou pas "maturés" (ripened)
- la pyrite tertiaire qui se forme dans les sols évolués avec un horizon généralement tourbeux.



REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE DES PRINCIPAUX PROCESSUS  
 DE LA FORMATION DE LA PYRITE SÉDIMENTAIRE

Selon RICKARD

" Enfin, en ce qui concerne les teneurs en pyrite, de nombreux travaux notamment en Sierra-Léone, Guyanes, Inde, ont montré que c'était sous Rhizophora que l'accumulation de pyrite était le plus élevée (jusqu'à 10 %), du fait que le système racinaire de cette espèce était très dense et surtout très profond, tandis que sous Avicennia, il y avait 2 possibilités : ou elle est pionnière, et dans ce cas l'accumulation de pyrites est faible (Guyanes, Inde,...) ou elle est secondaire (Sénégal) et dans ce cas, les teneurs en pyrites sont celles sous Rhizophora. C'est donc généralement un matériau très organique, fibreux, riche en pyrites à pH voisin de la neutralité (à l'état frais), à potentiel d'oxydo-réduction négatif et très riche en eau, qui va évoluer par suite des modifications progressives du régime hydrique, de l'aération, de la salinité,....

II<sub>2</sub>/ Pédogénèse : Pour PONS et ZONNEVELD, la pédogénèse débute lorsque l'air pénètre dans les sédiments sous l'effet du drainage naturel ou artificiel - Cette pédogénèse "initiale" est caractérisée par la maturation ou "ripening" et donne lieu à des modifications d'ordre physique : perte en eau, modification de la consistance, de la structure, développement d'un horizon B ; d'ordre chimique : dessalure ou sursalure, oxydation des sulfures, des composés ferreux ; d'ordre biologique enfin : modification, augmentation, diversification de la faune. Nous passerons brièvement en revue ces diverses modifications qui interviennent dans la classification de ces sols.

#### II<sub>2</sub>a) Modifications physiques :

D'après PONS et ZONNEVELD, la maturation physique serait le premier processus qui se développe au sein d'un matériau alluvial et la première étape de ce qu'ils appellent la "pédogénèse initiale".

Outre la déshydratation et le tassement qui en résulte, le sol acquiert une certaine consistance que PONS et al ont défini par un indice qu'ils ont pu relier à la texture, à la teneur en eau et à la matière organique selon la formule :

$$n = \frac{A - 0,2 Z}{L + 3 H}$$

Dans laquelle : A = teneur en eau du sol séché à l'air

L = teneur en argile,

H = teneur en matière organique total

Z = 100-L-H (fraction minérale non colloïdale).

Plus n est élevé moins le sol est développé et 5 classes de consistance ont été définies qui peuvent, par ailleurs être estimées manuellement sur le terrain. Cet indice n sera aussi un des critères de la classification américaine.

Description manuelle	Classe de consistance	n
Très consistant, résiste à la pression de la main	Totalement développée	0,7
Malléable, un peu plastique colle à la main, nécessite de forcer pour passer entre les doigts.	Presque développée	0,7 - 1,0
Très malléable, plastique, colle à la main, mais s'échappe aisément entre les doigts	Semi-développée	1,0 - 1,4
Sans consistance, très plastique, colle très fortement à la main et passe entre les doigts	Peu développée	1,4 - 2,0
Fluide, mou, ne peut être contenu dans la main.	Non développée	2

## II<sub>2</sub>b) Modifications chimiques :

a) La salinité : son évolution dans les zones de mangroves est essentiellement liée au climat. En effet, dans les régions équatoriales et tropicales humides, le gradient de salinité décroît à mesure qu'on passe de la mangrove aux marais ou à la forêt marécageuse (Guyanes, Sierra-Léone, ...).

Par contre, dans les régions tropicales à saisons contrastées, la salinité croît de la mangrove aux zones marécageuses, au point d'atteindre des valeurs telles que la végétation peut totalement disparaître (tanne vif).

b) pH : Le pH des sols de mangroves a été étudié depuis longtemps et par de nombreux auteurs, surtout depuis qu'on s'était aperçu que les polders établis sur les mangroves s'acidifiaient.

Les études les plus nombreuses et les plus importantes ont été réalisées à la station de ROKUPR en Sierra-Léone, par DOYNE, JORDAN, HART, HESSE, JEFFERY, TOMLINSON ; en Gambie, par GIGLIOLI et THORNTON ; au Sénégal par G. BEYE, C. MARIUS et J. VIEILLEFON.

De nombreux pédologues hollandais se sont intéressés aux problèmes d'acidification, parmi lesquels VANBEERS, VAN BREEMEN, BRINCKMAN, PONS, ...

Le pH est le caractère principal choisi par les américains et la F.A.O. pour la classification des sols de mangroves.

Tous les travaux effectués sur la mangrove, et principalement au

Sénégal ces dernières années, sont arrivés aux conclusions suivantes :

le pH du sol mesuré sur place - pH "in situ" - est voisin de la neutralité dans les sols de mangroves naturelles. Il est en général légèrement plus acide sous *Avicennia* (entre 5 et 6) que sous *Rhizophora* (entre 6 et 7).

Mesuré sur un échantillon séché à l'air - comme c'est l'habitude pour les autres sols - le pH est nettement plus acide que celui de l'échantillon frais.

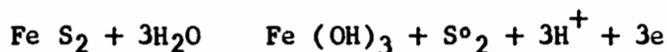
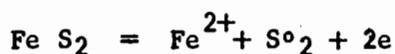
Le pH des sols de polders est plus ou moins acide et en liaison avec la nature de la formation végétale qui couvrait le sol. C'est ainsi que le sol sous *Avicennia* - végétation pionnière - s'acidifie moins que le sol sous *Rhizophora*.

Dans ces sols de mangroves, le pH est donc moins lié au taux de saturation du sol qu'aux variations dues aux conditions d'engorgement ou de dessiccation du sol :

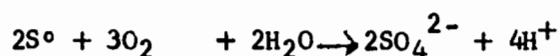
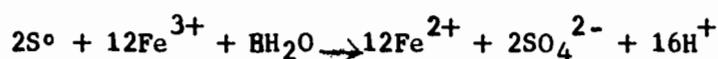
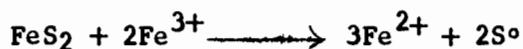
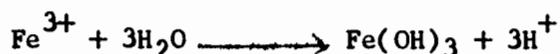
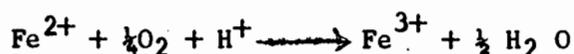
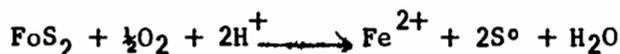
L'acidité développée au cours du séchage des échantillons est appelée "acidité potentielle" et l'intensité de cette acidité peut être définie comme la différence entre le pH frais et le pH sec. En l'absence d'éléments neutralisants ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ , minéraux altérables, ...) cette intensité peut être élevée et au Sénégal par exemple sous mangrove à *Rhizophora*, elle est de l'ordre de 4,5 (pH frais : 6,5 - pH sec 2) et elle décroît quand on passe de la mangrove au tanne.

c) Soufre : Il est connu depuis longtemps que c'est l'oxydation des composés réduits du soufre et principalement de la pyrite qui est à l'origine de l'acidification, et de ce fait constitue le facteur prédominant de l'évolution des sols de mangroves. La liste des travaux consacrés aux processus pédogénétiques de l'oxydation des pyrites est longue et peut être trouvée soit dans les comptes rendus du Symposium de WAGENINGEN (1972), soit dans la thèse de J. VIEILLEFON; Le plus important et le plus récent parmi ces travaux est celui de N. VAN BREEMEN consacré à la genèse des sols sulfatés acides de Thaïlande, dont voici les points essentiels :

L'oxydation des composés réduits du soufre est favorisée par des micro-organismes appartenant au groupe des Thiobacilles dont les plus actives sont *Th. thiooxydans* et *Th. ferrooxydans*, tous deux remarquables par leur tolérance aux conditions très acides du milieu. Dans une première phase, l'oxydation de la pyrite s'accompagne de la formation du soufre élémentaire et d'hydroxyferrique selon des réactions :



O<sub>2</sub> et Fe<sub>3</sub> étant les oxydants et S<sup>0</sup> le produit initial d'oxydation les réactions suivantes caractérisent les processus d'oxydation de la pyrite :



La décomposition de la pyrite s'accompagne d'abord de la libération du fer ferreux Fe<sup>2+</sup> et de l'oxydation de la pyrite en soufre élémentaire S<sup>0</sup>. L'oxydation microbiologique de S<sup>0</sup> donne du SO<sub>4</sub> et H<sup>+</sup>. Si le pH s'abaisse beaucoup le fer ferrique est libéré dans la solution par oxydation du Fe<sup>2+</sup> sous l'influence de Th. ferrooxydants. En présence de pyrite et de soufre élémentaire Fe<sup>3+</sup> est réduit rapidement en Fe<sup>2+</sup> qui peut de nouveau être mis dans le circuit par les thiobacilles. Une fois que le cycle formation et réduction de Fe<sup>2+</sup> est bien établie, la pyrite peut être rapidement oxydée sous l'influence du fer dissous agissant comme catalyseur.

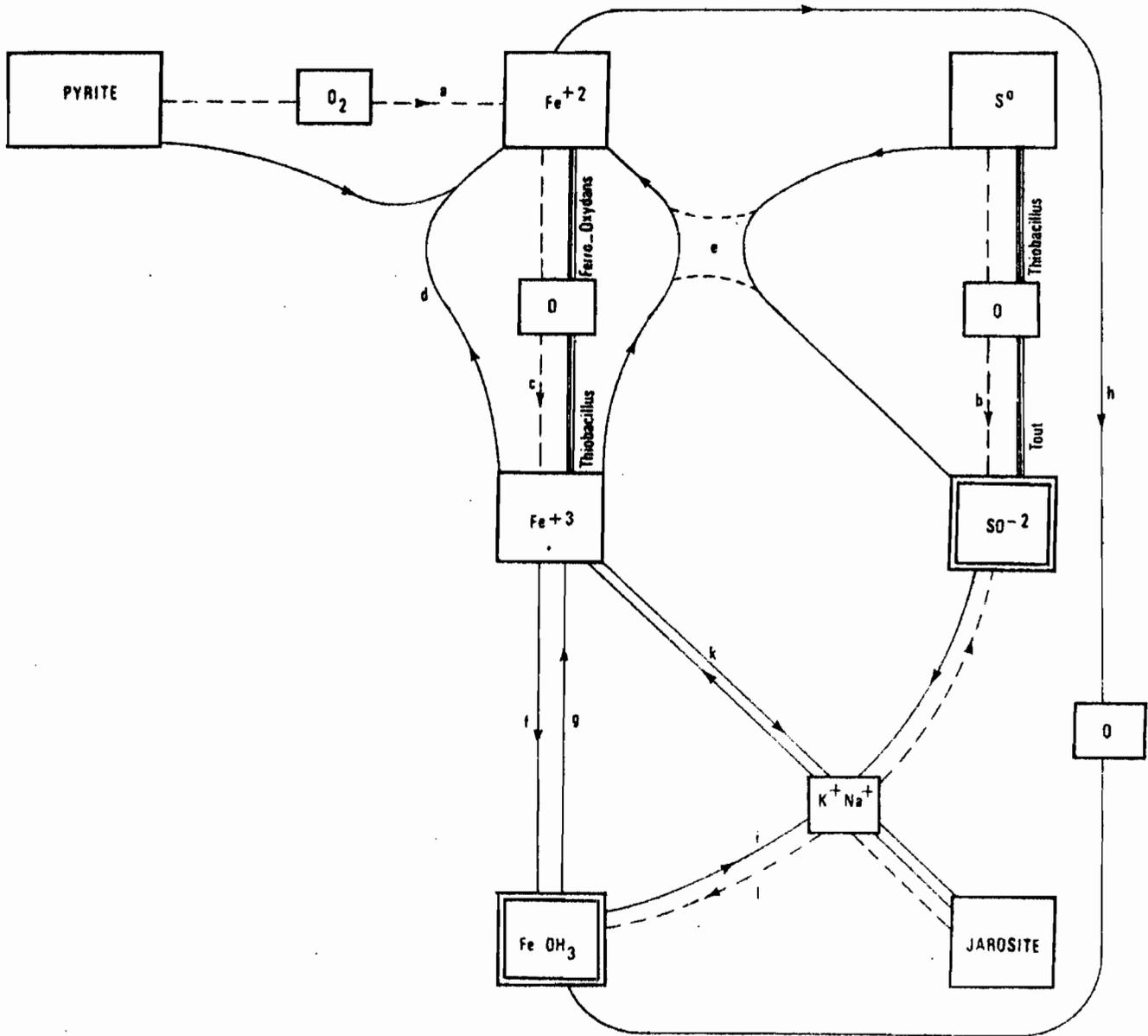
La figure 2 illustre les voies d'oxydation de la pyrite.

De nombreux facteurs interviennent dans les processus d'oxydation parmi lesquels nous citerons : l'activité microbiologique, dont l'optimum se situe entre 20° et 40°C le pH et le Fe<sup>3+</sup> dissous et de nombreuses expériences montrent que le fer ferrique agit comme oxydant aux pH compris entre 1 et 4.

En l'absence d'éléments neutralisants, (CO<sub>3</sub>Ca, minéraux verts altérables) et dans les conditions acides le produit le plus important de l'oxydation de la pyrite est un sulfate basique de fer du groupe de la jarosite.

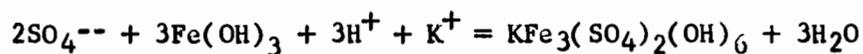
La réaction de formations de la jarosite s'écrit :

Selon N. VAN BREEMEN



- > Processus chimique relativement lent
- > " " " " rapide
- > " " microbiologique " "
- ▭ Formation avec libération de H<sup>+</sup>

Fig. 2



Il existe au moins 3 variétés de jarosite :

La jarosite K la plus commune

La natrojarosite :  $\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$

L'hydronium-jarosite :  $(\text{H}_3\text{O})\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$

La jarosite présente dans les profils une couleur jaune caractéristique, localisée dans les gaines racinaires des Rhizophora. A la jarosite est souvent associée, en condition très acides, un sulfate basique d'aluminium : l'alumite :  $\text{Al OH SO}_4$ , commun dans les sols de mangroves du Viet-Nam (sols alunés) et fréquent au Sénégal. Dans les régions plus ou moins arides (Saloum, Delta du Sénégal), c'est le gypse qui est associé à la jarosite.

Dans les zones sursalées - consécutives à une sécheresse marquée - on peut parfois observer, dans la croûte superficielle des sulfates solubles tels que : le sodium alun  $\text{Na Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$  - le tamarugite  $\text{Na Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  - la pickeringite  $\text{Mg Al}_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$ . Il est à noter enfin, que les conditions acides du milieu provoquent la libération de l'aluminium sous forme soluble en quantités généralement toxiques pour les plantes, s'il n'est pas lessivé, rapidement, soit par les pluies, soit par les marées.

### III - CLASSIFICATION DES SOLS DE MANGROVES

III<sub>1</sub>) L'étude de la genèse des sols de mangroves tropicales nous a montré que le facteur dominant de l'évolution de ces sols était le soufre et les composés soufrés, d'où le terme de "sols sulfatés acides" utilisé couramment pour les désigner. Par extension, les sols sous palétuviers, riches en pyrites et dont le pH séché est acide sont appelés : "sols potentiellement sulfatés acides".

D'autres termes, tels que "cat-clays", "potential cat-clay" sont fréquemment utilisés. Or, la classification française, dans sa dernière édition de 1967 (C.P.C.S.) ne mentionne à aucun niveau la présence de sulfates dans les sols, exception faite du sous-groupe des sols salins acidifiés, dans la classe des sols sodiques, or ce type de sol représente presque une exception dans la gamme des sols sulfatés acides. Pour remédier à cet état de chose, J.H. DURAND, à la suite de la cartographie des sols du Delta du Sénégal, considérant qu'il était indispensable de mettre à part les sols issus de mangroves, avait proposé la création dans la classe des sols halomorphes, d'un groupe de sols sulfatés avec 2 sous-groupes : les sols sulfatés réduits avec  $SO_4/Cl \leq 0,1$ .  $Ca/Mg < 1$  et  $pH > 5$  et le sous-groupe des sols sulfatés acides avec  $SO_4/Cl > 0,1$ .  $Ca/Mg < 1$  et  $pH \leq 5$ . Le problème n'était pas pour autant résolu, car si dans le cas du Delta du Sénégal, où on a affaire à de très anciens sols de mangroves dans lesquels la pédogénèse actuelle dominante est l'halomorphie, il n'en est pas de même pour la grande majorité des sols de mangroves qui sont généralement peu évolués ou en voie d'évolution ; c'est pourquoi dans le cadre de la classification française et en nous inspirant de la classification américaine, nous avons réparti les sols des mangroves guyanais dans les différentes classes des sols minéraux bruts, sols peu évolués et sols hydromorphes.

III<sub>2</sub>) La classification américaine : (7ème Approximation) dans son édition de 1970 a défini, d'une part le matériau sulfidique, comme étant un matériau organique ou minéral, contenant 0,75 % ou plus de S total, généralement sous forme de sulfures réduits, subissant une inondation quasi permanente, dans lequel le pH proche de la neutralité, à l'état frais s'abaisse au-dessous de 3,5, par drainage, d'autre part, un horizon sulfurique, comme étant un horizon minéral ou organique ayant un pH (1/1 à l'eau) inférieur à 3,5 et contenant des taches de jarosite dont les hues sont 2,5 Y ou plus jaunes et le chroma 6 ou plus.

A partir de ces définitions 2 grands groupes ont été introduits : les sulfaquents pour les sols potentiellement sulfatés acides et les sulfaquepts pour les sols sulfatés acides.

III<sub>2a</sub>) Sulfaquepts : sont caractérisés par la présence d'un horizon sulfidique ou (pyritique), dont le pH (1/1 eau) séché est inférieur à 3,5 sur 50 cm si  $n > 1$  et sur 30 cm, si  $n$  est égal ou inférieur à 0,7. Le pH de ces sols à l'état frais est voisin de la neutralité. Le sous-groupe typic-sulfaquent répond à cette définition. Les sols organiques, à horizon tourbeux plus ou moins épais (mangrove à Rhizophora) sont classés sulfihemists. Le matériau sulfidique peut être très épais (1 m).

Les sulfic hydraquents : correspondent à des sols de marais d'eaux saumâtres ou d'eau douce contenant suffisamment de sulfures pour donner un pH (1/1 eau) du sol séché inférieur à 4,5 sur les 25 cm superficiels ou ayant des teneurs en sulfures plus élevées entre 50 cm et 1 m.

À la suite du Symposium des sols sulfatés Acides de WAGENINGEN, DOST et al - dont nous sommes - ont proposé la création du sous-groupe "halic" sulfaquent pour les sols de mangroves salés des régions tropicales sèches ou arides.

III<sub>2b</sub>) Sulfaquepts : ce groupe comprend les sols acides à  $\text{pH} < 3,5$  et possédant un horizon à taches de jarosite, jaunes 2, 5 Y, dont le sous-groupe modal est le Typic sulfaquept. Les sols de la série de Mara, en Guyanes, entrent dans ce groupe, ainsi que la plupart des sols sulfatés acides de Thaïlande, Sierra-Léone, Gambie, Casamance. Les sols à couche de tourbe épaisse sont des histic sulfaquept.

Les sols sulfatés acides des régions sèches, notamment les sols de tannes vifs, à  $\text{pH} < 3,5$ , mais fortement salés sont classés halic sulfaquepts, mais dans les tannes herbacés où le pH est moins acide mais inférieur à 4,5, ils seront classés sulfic-haliquept.

III<sub>2c</sub>) Cette classification s'adresse évidemment aux sols des mangroves "sulfatés acides", mais dans ces régions, on sait qu'il existe des sols non acides. En Guyane, leur extension est assez importante : sols des mangroves à Avicennia, des mangroves dégradées (Frontland-Clays), de la phase Mcleson. Sur la côte orientale de l'Inde, nos analyses ont montré que la majorité des sols de mangroves n'étaient pas acides. En Thaïlande, PONS et VAN DER KEEVIE ont caractérisé des sols qui, bien que riches en pyrite mais, du fait de leur richesse en éléments neutralisants ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ , minéraux altérables, ...) ne s'acidifient pas au séchage : ce sont les "non acid Marine soils". Tous ces sols se répartissent dans les différents groupes des Aquepts ou des Aquepts.

III<sub>2d</sub>) Les sols "para-sulfatés acides" : Ces sols ont été décrits pour la première fois par PONS, au Suriname, où on les trouve associés à des sols sulfatés acides et apparemment issus d'un même matériau argileux non calcaire.

Par la suite, ils ont été décrits dans d'autres régions et notamment dans le Delta du Sénégal.

Ils se distinguent des sols sulfatés acides par un horizon B très développé, parfois jusqu'à 2 m, à structure prismatique et à taches jaunes de jarosite dans une matrice grise traversée de nombreuses gaines racinaires ferruginisées :

- un pH acide compris entre 3,5 et 4,5
- l'absence d'Aluminium soluble dans les solutions du sol.

Ces sols se trouvent, en fait, généralement dans des zones riches en éléments neutralisants de l'acidité. Ce sont des sulfic tropaquet ou des typic tropaquet.

III<sub>3</sub>) La F.A.O. : dans la légende de la Carte Mondiale des sols - édition de 1974 - s'est inspirée de la classification américaine pour ce qui concerne les sols sulfatés acides et a créé une unité "Thionic fluvisols" pour les sols fluvio-marines récents, définis comme ayant un horizon sulfurique ou un matériau sulfidique - sans distinction - sur 125 cm. Aussi, avons-nous proposé, à l'issue de la 3ème Réunion du Comité de Corrélation des sols de l'Ouest Africain tenue à DAKAR en Février 1975 et au cours de laquelle ont pu être observés de nombreux profils de sols de mangroves, de distinguer les 2 unités : Sulfidic-Thionic fluvisols et Sulfuric-Thionic fluvisols.

#### III<sub>4</sub>) Propositions pour la classification française :

Nous nous adresserons, bien entendu, à la nouvelle classification qui est en cours d'élaboration à l'ORSTOM.

III<sub>4a</sub>) La vase nue de la slikke, non évoluée, sera un primosol - sol minéral brut.

III<sub>4b</sub>) Les sols "potentiellement sulfatés acides" seront des primosols ou sulfisols - peu évolués - à sulfures. L'horizon fondamental serait donc le sulfiden : horizon contenant des sulfures, principalement de fer, avec une teneur en soufre total supérieure à 0,75 %, à pH  $\leq 3,5$ .

Les sous-groupes seraient : typique, salés, histique, humique, ...

III<sub>4c</sub>) Les sols sulfatés acides pourraient entrer dans la classe des selsols, à condition d'y créer une sous-classe ou un groupe de sulfosols, dans laquelle l'horizon fondamental serait la sulfuron : correspondant à l'horizon sulfurique de la classification américaine.

Les groupes seraient : sulfosol modal, sulfosol sodique, sulfosol gypsique, sulfosol humique.

Dans le cas des sols fortement salés à  $pH > 3,5$ , mais possédant un horizon à jarosite, on parlera plutôt d'un halisol sulfique.

Dans le tableau ci-dessous, nous tenterons d'établir une corrélation des 3 classifications pour les sols de mangroves "sulfatés acides" :

Sols potentiellement sulfatés acides			
Caractères principaux	U.S.D.A.	Classification française (proposition)	F. A. O.
pH (1/1 eau) du sol séché 3,5 sur 50 cm, si $n > 1$ , sur 30 cm, si $n < 0,7$	Typic sulfaquent	Sulfisol typique (ou modal)	Sulfidic-Thionio fluvisol
Matériau sulfidique sur 100 cm - pH de sol séché (1/1 eau) $< 3,5$	Typic-sulfihemist	Sulfisol histique	Sulfidic-Thionio fluvisol
Acidité comme typic - conductivité élevée (à définir)	Halic sulfaquent	Sulfisol sodique	Sulfidic-Thionio fluvisol
Sols sulfatés acides			
pH (1/1 eau) $< 3,5$ - horizon à taches de jarosite sur 50 cm	Typic sulfaquept	Sulfosol modal	Sulfuric-Thionio fluvisol
pH (1/1 eau) $3,5 <$ taches de jarosite sur 50 cm Matériau organique	Sulfo-hemist	Sulfosol humique	Sulfuric-Thionio fluvisol
pH $< 3,5$ - Conductivité élevée (à définir)	Halic sulfaquept	Sulfosol sodique	Gleyic solonchak
pH $< 4$ (entre 50 et 100) et/ou entre 3,5 et 4 sur 50 cm	Sulfic Tropaquept		
Le même, avec conductivité élevée.	Halic sulfaquept	Halisol sulfique	Gleyic solonchak

#### IV - CARTOGRAPHIE :

La prospection et la cartographie des zones de mangroves présentent certaines caractéristiques qui leur sont tout à fait particulières, et nous indiquerons ici les méthodes que nous utilisons à Dakar ces dernières années.

##### IV<sub>1</sub>) Matériel utilisé :

IV<sub>1a</sub>) Prélèvements : La tarière hélicoïdale ne donnant aucun prélèvement valable, les sondages sont faits à l'aide d'une pelle à vase, qui est un cylindre de 10 cm environ de diamètre découpé sur un peu plus de la moitié, en long, La longueur est d'1,20 m et les bords sont tranchants.

Pour des prélèvements profonds, nous disposons d'un carottier à piston stationnaire, obtenu dans le cadre d'une A.T.P. du C.N.R.S., dirigé par J. LUCAS.

Le carottier permet de prélever des carottes, non perturbées, de 1 m chacune dans des tubes plastiques. Avec une équipe bien rodée, nous avons pu effectuer de 12 à 13 m de carottages dans la journée.

IV<sub>1b</sub>) Laboratoire de terrain : Nous disposons d'un véritable petit laboratoire de terrain, comprenant :

- 1 pH-mètre - Ehmètre : Portable, de marque CORNING, fonctionnant avec 3 petites piles de 8 V. chacune - et équipée d'électrodes POLYMETRON, spéciales, s'enfonçant aisément dans la vase semi-humide et humide.
- 1 conductivimètre, de marque GENCO, pour les mesures de salinité des nappes.
- Des trousseaux HACH pour les déterminations immédiates dans les eaux des nappes, des sulfures, du bfer, du CO<sub>2</sub> dissous, de l'O<sub>2</sub> dissous, des nitrites, des nitrates.
- De l'eau oxygénée à 30 %
- Un flacon de HCl.

IV<sub>1</sub>c) Matériel de stockage : Pour la cartographie de routine, les échantillons sont prélevés dans des flacons plastiques de 250 cc ou 500 cc, à double fermeture :

- dans le cas des carottages, des morceaux de carottes seront découpés, après les mesures classiques dont nous reparlerons plus loin, à l'aide d'une scie circulaire. Ces échantillons de carottes sont introduits dans un sac plastique immédiatement soudé aux 2 extrémités, à l'aide d'un soude-sac et placés dans un congélateur.

L'ensemble scie-circulaire, soude-sac, congélateur, est alimenté par un groupe électrogène HONDA.

A ce matériel vient de s'ajouter récemment, une pompe à vide miniature pour filtration des eaux sur millipore.

#### IV<sub>2</sub>) Déterminations sur le terrain :

L'échantillon prélevé à la pelle à vase est ouvert, à la main, sur toute la longueur, à l'aide d'un couteau. Il faut autant que possible arracher sans lisser. Quant à la carotte prélevée dans le tube plastique, elle est ouverte sur la longueur, à l'aide de la scie circulaire. Dans les 2 cas, on procède immédiatement, à la détermination du Eh et du pH.

La description complète du profil est ensuite effectuée, en insistant sur la couleur et la consistance. En effet, les couleurs gris-foncées 10 YR 4/1, 3/1, etc... indiquent généralement la présence de sulfures, tandis que les couleurs gris verdâtres, gris-bleu... caractérisent plus les sols non acides.

La consistance est déterminée en pressant un échantillon dans la main. La consistance, dite "de beurre" ou peu développée indique la présence de sulfures.

Le pH après oxydation peut être déterminé sur le terrain, en traitant l'échantillon avec du H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, à l'ébullition. Il peut s'abaisser jusqu'à 2 - 2,5.

La présence de CO<sub>3</sub>Ca est déterminée à l'aide du HCl.

Dans les trous qui ont servi aux prélèvements de sols, on prélève simultanément de l'eau de la nappe. Sur cette eau, on détermine sur place, la conductivité électrique, à l'aide du CENCO, le pH et le Eh, à l'aide du pH-mètre CORNING, les sulfures, le fer et éventuellement l'oxygène dissous, à l'aide des trousseaux HACH.

IV<sub>3</sub>) Déterminations au laboratoire :

Nous nous limiterons bien entendu aux analyses spécifiques et caractéristiques des sols de mangroves, à savoir la détermination des composés du soufre - le laboratoire du Centre de Dakar étant actuellement le seul laboratoire ORSTOM à effectuer ces déterminations.

IV<sub>3.1</sub>) Déterminations sur échantillons frais : Sur les échantillons conservés en flacon étanches au réfrigérateur, en procède aux analyses suivantes :

IV<sub>3.1a</sub>) Test qualitatif de la présence de pyrites : Méthode de Edelman :

Dans un tube à essai, on ajoute à 0,2 g de sol environ 1 cc du liquide détergent et environ 0,5 cc de solution de sodium azide (dissoudre 1,27 g d'iode sublimé et 2,4 g de 1 K dans 8 cc d'eau. Diluer à 100, ajouter 3 g de N<sub>3</sub>Na et dissoudre).

La formation de mousse indique la présence de sulfures. PONS à estimé qu'une mousse de 2 cm de hauteur correspond à 1,4 % de S des pyrites,...

IV<sub>3.1b</sub>) H<sub>2</sub>S et sulfures solubles : (Méthode Goni-PARENT)

Principe : l'hydrogène sulfuré dégagé par attaque diorhydrique est amené à barboter dans une solution d'acétate de zinc et de cadmium. Les sulfures de zinc et de cadmium sont dosés iodométriquement en milieu légèrement acide selon la réaction :



En milieu alcalin, une partie des sulfures serait oxydés en sulfates :



IV<sub>3.1c</sub>) Soufre élémentaire : (Goni-PARENT)

Après élimination par HCl N de l'hydrogène sulfuré, le soufre élémentaire est extrait par l'acétone en présence de Cuivre métallique. Le sulfure de Cuivre formé est dosé par iodométrie.

IV<sub>3.1d</sub>) Les sulfures insolubles :

Le résidu après dosage des sulfures solubles et du soufre élémentaire est dosé au sulmograph dont nous reparlerons à propos du soufre total.

IV3.1c) Pyrites : (Méthode de PETERSEN)

Le principe de la méthode consiste à extraire successivement, à l'aide d'un SOXHLET, d'abord les composés non pyritiques avec HCl 20 %, pendant 15 H, ensuite les composés pyritiques avec NO<sub>3</sub>H 68 %, pendant 15 H. Le fer est dosé dans la solution d'extraction par NO<sub>3</sub>H.

IV3.2) Déterminations sur échantillons séchés à l'air :

IV3.2.a) Les sulfates solubles : sont déterminés sur l'extrait aqueux 1/10 - qui sert au dosage des sols solubles - par gravimétrie.

IV3.2b) La jarosite : (Méthode de N. VAN BREEMMEN)

Dissolution des sulfates solubles dans l'eau (CaSO<sub>4</sub>) et hydrolyse du sulfate de la jarosite KFe<sub>3</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub> dans une solution de carbonate basique, (le carbonate de sodium).

Dissolution du gypse et autres sulfates solubles dans une solution N de NaCl.

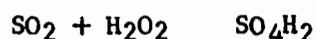
Détermination turbidimétrique du sulfate comme précipité de sulfate de baryum en suspension dans une solution de gomme-acacia.

IV3.2c) Le soufre total : Il est dosé à l'aide du Sulfomograph WOSTHOFF, dont voici le principe :

Le soufre est dosé par combustion de l'échantillon dans un courant d'oxygène à 1350°C.



Le SO<sub>2</sub> provenant de la combustion du soufre est absorbé par une solution oxydante (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) dans laquelle CO<sub>2</sub> n'est pas retenu :



La concentration du soufre est déterminée par variation de la conductivité avant et après passage du SO<sub>2</sub> dans cellule contenant la solution oxydante.

V - EXEMPLES DE PROFILS DE SOLS DE MANGROVES :

1) - Sous mangroves à *Rhizophora racemosa* + *Ph. mangle*, dans le marigot de Bignona, affluent de la Casamance, au village de Balingor - P = 1 400 mm.

En surface, nombreux coquillages de *Tympanotonus fuscatus*, et trous de crabes.

0 - 23 cm : gris bleu, tourbe argileuse, très riche en racines, radicales et fibres fraîches de *Rhizophora*.

23 - 35 cm : gris bleu, argile tourbeuse, très riche en racines et fibres.

35 -100 cm : gris 10 YR 5/1, tourbe argileuse, quelques taches brunes, nombreuses fibres et racines.

Profondeur cm	pH frais	pH sec	C %	N %	C/N	S1	S2	S3	S4	S5	S6
0 - 20	6,3	2,1	129,5	3,17	40,9	0,81	46,6	26,7	3,1	11,9	60
20 - 40	6,3	2	78,5	2,02	38,9	0,97	46,3	32	7,1	9,2	76
40 - 60	6,2	2,1	86,5	1,97	43,9	2,34	66,3	35,2	7,03	12,7	70,8
60 - 80	6,3	2,1	72,5	1,97	36,8	1,55	48	34	9,9	9,5	68,8
80 - 100	6,4	2,1	69,5	1,8	38,6	1,07	38,4	24,	6,2	5,7	63,2

S1 : Sulfures solubles en S % du sol séché à l'air

S2 : " insolubles " " " "

S3 : Pyrite " " "

S4 : Jarosite " " "

S5 : Sulfates solubles " " "

S6 : Soufre total

Classification :

U.S.D.A. : Typic sulfihemist.

F.A.O. : Sulfidic thionic fluvisol.

Française: (proposition) : Primosol - peu évoluée - sulfisol histique.

2) - Sous mangrove à Avicennia nitida + sesuvium - Balingor (Estuaire de la Casamance) - P : 1 400 mm

0 - 10 cm : 5 YR 4/6, argileux, structure subangulaire, très fine, humide plastique, légèrement collant, nombreuses fines racine.

10 - 25 cm : 5 YR 4/5, à nombreuses taches, larges, distinctes 5 YR 5/0, nombreuses fines racines.

25 - 45 cm : Nombreuses fines racines, quelques grosses racines partiellement décomposés, consistance semi-développée, collant, légèrement plastique, pas de taches.

45 - 55 cm : 10 YR 4/1, argileux, nombreuses taches 10 YR 4/2, légèrement fibreux, consistance moins développée que l'horizon précédent.

55 - 70 cm : 10 YR 4/1, argileux, fibreux : n = 1,5, pas de taches.

70 - 90 cm : 10 YR 3,5/1, très fibreux : n = 1,5.

Profondeur cm	pH frais	pH sec	C %	N %	C/N	S1	S2	S3	S4	S5	S6
0 - 20	5,3	4,9	27,6	1,32	20,9	0,05		1,29	3,2	2,2	17
20 - 40	5,2	4,8	18,4	1,07	17,2	0,1		1,96	2,2	1,6	16,5
40 - 60	4,3	2,4	27,6	1,22	22,6	0,4	11,3	4	6,1	3,8	18
60 - 80	4,7	2	46	1,3	35,4	0,7	26,8	15,1	8,5	4,2	46,2
80 - 100	4,7	2	26,8	1,07	22	0,6	35,9	21,7	11,3	5,7	56,7

Classification : U.S.D.A. : Typic sulfaquent

F.A.O. : Sulfidic thionic fluvisol

Française (preposition) : primosol - peu évolué - sulfisol-modal.

3) - Estuaire du Saloum : P = 900 mm - Sous mangrove à Rhizophora mangrovia épars.  
En surface, nombreux trous de coquillages.

0 - 15 cm : gris, semi-développé, argilo-sableux, quelques racines.

15 - 80 cm : gris à gris-bleu, peu développé, collant, nombreuses racines, organique, trous de crabes.

80 - 120 cm : gris clair, riches en racines - Totalemment réduit.

Profondeur cm	pH frais	pH sec	C %	N %	C/N	CE 1/5 mmhos	S1	S2	S5	S4	S6
0 - 20	7,5	6,5	1,5	0,16	9,4	8,75	0,07		0,8	0,8	4,6
20 - 40	6,1	3,5	10,2	0,62	16,5	23,2	1,1	14,6	3	3,7	24,5
40 - 60	6,2	2,3	30,7	1,82	20,3	40,5	1,28	28,2	6,8	11	54
60 - 80	6,4	2,3	24,4	1,99	12,3	30,8	1,35	28,6	6,5	9,4	46,7
80 - 100	6,5	2,2	16,8	0,85	19,7	22,7	0,6	21,6	5,05	6,3	33,7

Classification : - U.S.D.A. : Halic sulfaquent.

- F.A.O. : Thionic fluvisol.

- Française (proposition) : Primosol - peu évolué - sulfisol sodique.

4) - Estuaire de la Casamance - Tobor : P = 1 500 mm - Sous défriche récente de mangrove, aménagée en rizière abandonnée. En surface, couche salie de 1 cm, avec sulfate d'alumine.

0 - 7 cm : 10 YR 4/1, argileux, revêtements d'oxydes ferriques 7,5 YR 4/4 sur agrégats, très peu de racines, développée, collant, plastique.

7 - 22 cm : 10 YR 4/1, argileux, revêtements d'oxydes ferriques 5 YR 4/4 larges et diffus, très collant, plastique.

22 - 44 cm : N3/0, argileux, nombreuses racines verticales dont les gaines s sont revêtues de larges taches de jarosite 2,5 Y 8/4, semi-développée, très collant, plastique.

44 - 90 cm : argileux, la jarosite, associée aux débris de racines, diminue progressivement en profondeur, fibreux, nombreuses racines.

Profondeur cm	pH frais	pH sec	C %	N %	C/N	CE 1/10 mmhos	S1	S2	S3	S4	S5	S6
0 - 20	2,5	2,5	53,2	1,8	29,6	8,950	0,4	4,55	1,19	10,2	2,34	37,1
20 - 40	2,5	2,5	34,8	1,4	24,9	19	0,74	18,08	1,75	9,7	5,6	38,5
40 - 60	2,5	2,5	22	1,2	18,3	21,9	1,2	11,2	7,27	9,3	7,06	38,6
60 - 80	2,8	2,6	20,8	1,2	17,3	21,3	0,37	18,47	11,4	9,9	6,9	52,2
80 - 100	3	2,8	20,4	1,02	20	18	0,08	15,34	13,04	9,9	6,5	47,2

Classification : - U.S.D.A. : Halic sulfaquept

- F.A.O. : Solonckaks.

- Française (proposition) : Selsol - Sulfosol sodique.

5) - Estuaire du Saloum - Sous tanne vif - P = 900 mm.

- 0 - 20 cm : humide, gris-brun foncé 10 YR 4/2 à gris clair, 10 YR 7/2, à taches nombreuses, petites et larges, distinctes, diffuses, de couleur rouille 5 YR 5/6, sableux, pas de racines, pas de pores.
- 20 - 37 cm : humide, gris 10 YR 5/1, nombreuses taches (40 %) larges, nettes, rouges 5 YR 5/8 - Quelques restes de racines de Rhizophora, indu-rées, revêtues de taches jaunes de jarosite 10 YR 8/6, consis-tance "de beurre", argilo-sableux, nombreuses racines de Rhizo-phora et taches distinctes de couleur 10 YR 5/8 - 10 YR 6/0.
- 37 - 67 cm : gris foncé, 10 YR 3,5/1,5 avec restes de fibres de Rhizophora, larges et épaisses, avec à l'intérieur et le long des racines des taches de jarosite, nettes, 2,5 Y 7/4.
- 67 - 77 cm : humide, argilo-sableux, à sable grossier, 10 YR 4/2, nombreuses taches, larges, distinctes de couleur jaune 2,5 Y 6/5, de jaro-site, consistance "de beurre".
- 77 - 100 cm : sable fin N 5/0 avec racines de couleur 10 YR 5/4 dont les ca-naux sont remplis de taches de jarosite.

Profondeur cm	pH frais	pH sec	C %	N %	C/N	CE 1/5 mmhos	S1	S2	S4	S5	S6
0 - 20	4,6	4,3	1,2	0,11	10,9	13,2		0,2	0,5	0,8	9,3
20 - 35	4	3,9	2,9	0,28	10,3	20,6	0,06	0,75	2,5	1,3	14,5
40 - 60	3,8	3,6	5,1	0,34	15	23,9	0,04	4,05	3,3	1,5	24,1
65 - 75	4	3,7	1,8	0,11	16,36	10,9	0,15	4	3,2	0,6	15,5

Classification : - U.S.D.A. : Sulfic halaquept.

- F.A.O. : Solonckak

- Française (proposition) : Selsol - Halisol sulfique.

## C O N C L U S I O N

Il n'est pas exagéré de dire que la classification française s'est jusqu'à présent, peu ou pas préoccupée des sols de mangroves tropicales, alors qu'en ce domaine la classification américaine a considérablement progressé par rapport à sa première édition de 1960. Les propositions que nous venons d'élaborer pour la nouvelle classification s'inspirent donc en partie des normes définies par la 7ème Approximation en 1972 et 1974, parmi lesquelles le pH est le caractère principal. Il reste cependant à préciser certains points tels que la nécessité de la présence de taches jaunes de jarosite, car dans certains profils de mangroves très évoluées, l'hydrolyse de la jarosite conduit à la formation de taches rouges d'oxydes de fer, alors que le pH reste acide. De même, les sols salés posent un problème, du moins en ce qui concerne la limite à définir pour la conductivité de l'extrait saturé. Nous l'avons résolu en ne prenant en considération que le pH et nous basant sur le fait que bien que parfois intense (comme au Sénégal) la salinisation ne constitue dans ces sols qu'un processus secondaire dans la pédogenèse de ces sols par rapport à l'acidification soit potentielle dans le cas des sols de mangroves, soit acquise dans le cas des sols de tannes.

6 - BIBLIOGRAPHIE

- BEYE, G. - 1972 - L'acidification des sols de mangroves de Basse Casamance après leur poldérisation. Effet du type d'aménagement. Proceed. I.S.A.S.S. - WAGENINGEN - vol. II - pp.
- BLASCO, F. - 1975 - Les mangroves de l'Inde. Trav. de la Sect. Sc. et Tech. de l'Institut Français de Pondichéry - Tome XIV - Fasc. 1 - 1975 pp.
- BRINCKMAN, R. - PONS, L.J. (1972) - Recognition and prediction of acid sulphate conditions. Proc. I.S.A.S.S. - WAGENINGEN - Vol. 1 - pp. 66-130.
- DOYNE, H.C. - 1933 - Some swamp rice growing soils of Sierra Leone. Trop. Agric. (Trinidad) - 10 - pp. 132-138.
- GIGLIOLI, M.E.C. - THORNTON - 1965 - The mangrove swamps of Kencba, Lower Gambia River basin - 1 : Descriptive notes on the climate, the mangrove swamps and the physical composition of their soils. J. Appl. Ecology. 3, pp. 1-19.
- HART, M.G.R. - 1959 - Sulfur oxidation in tidal mangrove soils in Sierra Leone. Plant and soil - 11 - pp. 215-236.
- HESSE, P.R. - SEFFERY, J.W.C. - 1963 - Certaines propriétés des sols de mangroves en Sierra Leone. Agron. Trop. 18 - pp. 803-805.
- JORDAN, H.D. - 1964 - The relation of vegetation and soil to development of mangrove swamps for rice growing in Sierra Leone. J. Appl. Ecology - 1 - pp. 209-212.
- MARIUS, Cl. - TURENNE, J.F. (1968) - Problèmes de classification et de caractérisation des sols formés sur alluvions marines récentes dans les Guyanes. Cah. ORSTOM - Sér. PEDO - Vol. VI n° 2 - pp. 151-201.
- MARIUS, Cl. - (1972) - Mise au point bibliographique sur la végétation et l'écologie des mangroves tropicales. Bull. de Liaison - Thème C - ORSTOM PEDO - n° 2 - pp. 21-52.
- MARIUS, Cl. - (1975) - Physiographie et classification des sols de mangroves de Basse-Casamance. 3ème Réunion du sous-Comité de Corrélation des sols de l'Ouest Africain (F.A.O.) - DAKAR - Février 1975 - pp. 241-260.
- MARIUS, Cl. - PAYCHENG, Cl. - LOPEZ - 1976 - La détermination du soufre et de ses composés au laboratoire ORSTOM de DAKAR. ORSTOM-DAKAR - Ronéo - 15 pp.
- PONS, L.J. - ZONNEVELD - (1965) - Soil ripening and soil classification. I.I.L.R.I. - WAGENINGEN - Publ. B - 128 p.
- PONS, L.J. - (1972) - Outline of genesis, characteristics, classification and improvement of acid-sulphate soil. Proc. - I.S.A.S.S. - WAGENINGEN - vol. 1 - pp. 3-27.

- RICKARD, D.T. - 1972 - Sedimentary iron sulphide formation.  
Proceed. I.S.A.S.S. - WAGENINGEN - Vol. 1 - pp. 28-67.
- UNESCO-FAO : Soil map of the World - Vol. 1 legend.
- U.S.D.A. - Soil classification - A comprehensive system 7 th Approximation.
- VAN BEERS, W.F.J. - 1962 - Acid sulphate soils.  
Bull. I.I.L.R.I. - WAGENINGEN n° 3 - 31 pp.
- VAN BREEMEN, N. - 1972 - Soil forming processes in acid sulphate soils.  
Proc. I.S.A.S.S. - WAGENINGEN - Vol. 1 - pp. 66-130.
- VAN BREEMEN, N. - 1976 - Genesis and soil chemistry of acid sulphate soils  
in Thailand.  
PUDOC - WAGENINGEN - 1976 - 263 pp.
- VAN der KEVIE, W. - 1972 - Physiography - Classification and mapping of acid  
sulphate soils.  
Proc. I.S.A.S.S. - WAGENINGEN - Vol. 1 pp. 204-221.
- VIEILLEFON, J. - 1969 - La pédogenèse dans les mangroves tropicales.  
Sc. du Sol. 1969 - n° 2 - pp. 115-148.
- VIEILLEFON, J. - 1974 - Contribution à l'étude de la pédogenèse dans le domaine  
fluvio-marin en climat tropical d'Afrique de l'Ouest.  
Thèse - PARIS VI - 362 pp.