

La mise en valeur et l'aménagement des sols de mangroves

C. MARIUS

ORSTOM/ULP -Institut de Géologie (Strasbourg)

RESUME

Après avoir passé en revue les techniques d'aménagement des sols de mangroves dans les Guyanes, en Indonésie et en Sierra Leone et étudié de manière détaillée les contraintes liées à la salinité et l'acidité de ces sols en Casamance, l'auteur propose pour ceux-ci des schémas d'aménagement appropriés.

1. INTRODUCTION

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** dont les deux plus connues sont *Rhizophora*, caractérisée par ses racines échasses et *Avicennia* caractérisée par ses racines aériennes: les pneumatophores.

A cette mangrove, sont généralement associés dans les zones inondées plus ou moins périodiquement en cours d'année, soit par les pluies, soit par les marées, des marais d'eaux saumâtres ou 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 "zones de mangroves" et les facteurs dominants de la pédogenèse des sols de ces zones sont le soufre et les composés sulfurés associés parfois aux sels solubles.

2. MISE EN VALEUR ET AMENAGEMENT DES MANGROVES

Les zones à mangroves sont caractérisées par une grande variété de sols et non, comme on le croit généralement, uniquement formées de sols potentiellement sulfaté-acides et salés. Cette variété de sols est liée aux conditions climatiques hydrologiques, géomorphologiques et à la végétation. Sous climat équatorial ou tropical humide, la plupart des sols de mangroves ne sont pas salés, et selon les conditions géomorphologiques et de végétation, les sols sont complète-

ment différents (sous des climats sensiblement identiques). C'est notamment le cas des sols des mangroves du Sénégal et de la Côte Orientale de l'Inde (Marius, 1982).

C'est en Asie que les mangroves ont été mises en valeur depuis longtemps (Indonésie, Malaisie, Thaïlande, Vietnam...) à cause de la pression démographique, mais aussi parce que le riz qui est la principale culture adaptée à ces sols est originaire et connu dans ces régions depuis très longtemps.

En Afrique, seule la frange côtière occidentale a été mise en valeur: en Guinée, Sierra Leone, Guinée Bissau et Sénégal.

Enfin en Amérique c'est uniquement dans les Guyanes (Suriname et Guyana) que ces sols ont été aménagés sur une grande échelle.

L'aptitude des sols de mangroves à l'aménagement pour une utilisation agricole dépend, en grande partie, d'un certain nombre de contraintes liées aux conditions locales du climat, de l'hydrologie et des caractères physiques et chimiques des sols (salinité et acidité) (MOORMANN, PONS, 1974). Après avoir brièvement analysé ces contraintes, nous donnerons quelques exemples d'aménagement connus (Sierra Leone) ou que nous avons observés (Guyanes, Indonésie).

A. Etude des contraintes

a) Contraintes liées à l'hydrologie

Les sols de mangroves sont le plus souvent, de texture fine et peu perméable, aussi selon le degré d'alluvionnement et de drainage, ils peuvent, quand ils viennent d'être récemment aménagés, soit être complètement réduits soit présenter un mince horizon oxydé sur un sous-sol réduit et même, dans ce dernier cas, ils sont généralement inondés de manière prolongée pendant la saison des pluies, donc en conditions réduites. Pour une utilisation agricole de ces sols, deux possibilités s'offrent aux aménageurs.

- Ou l'on ne peut pas investir dans le drainage et alors seules les cultures adaptées aux conditions d'hydromorphie sont possibles, ce qui limite les spéculations agricoles au riz.

- Ou l'on dispose de capitaux pour investir dans le drainage et s'assurer une parfaite maîtrise de l'eau et alors la gamme de cultures possibles est importante, notamment celles de cultures industrielles pouvant permettre d'amortir les frais investis (coco, palmier à huile, canne à sucre, légumes, agrumes...), c'est ce qu'ont fait le Suriname ou la Malaisie, par exemple. Il ne faut cependant pas perdre de vue que le drainage mal contrôlé peut conduire à une acidification des sols.

Parmi les contraintes liées aux conditions hydrologiques, il faut aussi retenir les inondations de différentes sortes, et notamment les inondations par les eaux salées soit dans les régions à déficit pluviométrique et où les eaux douces apportées par les rivières sont insuffisantes (Casamance) soit dans les régions touchées par les cyclones (Delta du Gange, Delta du Fleuve Rouge).

b) Contraintes liées à la salinité

Les sols de mangrove, récemment aménagés, sont plus ou moins salés et donc adaptés uniquement à des cultures tolérantes aux sels. S'il y a suffisamment d'eau douce provenant soit des pluies, soit des cours d'eau, la salinité peut être éliminée, soit temporairement durant la saison des pluies, soit de manière permanente par une poldérisation et un drainage judicieux.

De ce point de vue, il faut distinguer la zone tropicale humide où la salinité ne pose plus de problèmes quelques années après l'aménagement de la zone tropicale à longue saison sèche où la salinité peut constituer une contrainte permanente même dans les zones poldérisées, car la resalination en saison sèche par évaporation et remontée capillaire est un phénomène courant et saisonnier. Les cultures ne peuvent être faites qu'en saison des pluies et encore, à condition d'être assuré d'avoir suffisamment d'eau douce fournie par les rivières. C'est le cas du Sénégal sur lequel nous reviendrons.

c) Contraintes liées à l'acidité

Les sols de mangroves sans acidité potentielle peuvent être aménagés sans problèmes. Bien drainés pour être dessalés, ils peuvent fournir des rendements en riz très élevés.

En revanche les sols de mangroves potentiellement sulfaté-acides se transforment rapidement en sols sulfaté-acides quand on les draine, avec toutes les conséquences chimiques lorsque le pH s'abaisse au dessous de 4 - 3,5.

BLOOMFIELD et COULTER (1973) ont passé en revue toutes les toxicités chimiques liées à l'acidification des sols de mangroves. Nous retiendrons celles qui sont les plus importantes, à savoir :

- la toxicité aluminique et ferrique qui se développe à des pH inférieurs à 3,5 et sur lesquelles nous reviendrons plus loin ;

- la toxicité manganique ;

- les toxicités liées aux acides organiques solubles dans le cas des sols tourbeux ;

- les carences en éléments nutritifs, notamment en phosphore, azote et éléments traces (Cu et Zn) sont importantes et générales dans les sols sulfatés-acides.

Toutes ces contraintes chimiques liées à l'acidité peuvent être surmontées par un aménagement approprié. Une première méthode utilisable dans le cas de la riziculture est de limiter le drainage au minimum absolu (30-50 cm). On évite ainsi l'acidification du sous-sol et donc la remontée capillaire de substances acides toxiques. Quand cela n'est pas prohibitif et si le sol n'est pas trop acide, on peut le chauler pour neutraliser l'acidité, au moins en surface.

d) Contraintes physiques

Les contraintes physiques au développement des sols à mangroves pour l'agriculture sont les plus sévères pendant l'aménagement de ces sols. Le défrichement du sol de mangrove, particulièrement de celui sous *Rhizophora* est très difficile à cause de la mauvaise accessibilité. Les sols de mangroves qui ne sont pas matures ou seulement très superficiellement ont une capacité de portance faible, ce qui exclut la mécanisation du défrichement et la préparation initiale du sol. Les sols sous *Rhizophora* ont une capacité de portance accrue par l'existence d'un mâle racinaire épais entrelacé, mais une fois que ces racines meurent et se décomposent après le défrichement, la capacité de portance diminue considérablement. Particulièrement difficile est aussi l'aménagement des sols à couche de tourbe superficielle (Guyanes, Bornéo). L'amélioration de la capacité de

portance et l'accessibilité n'ont lieu qu'après une aération raisonnable des couches profondes et la maturation des sols. Et la mécanisation n'est possible que si les 50 cm superficiels sont maturés. Cela signifie que les sols potentiellement sulfaté-acides qu'il ne faut pas aérer pour prévenir toute oxydation ne sont pas aptes à être mécanisés. Il en est de même pour les sols tourbeux où la mécanisation n'est possible que lorsque la couche de tourbe a disparu par oxydation ou a été brûlée.

B. Exemples d'aménagements des mangroves

Nous citerons trois exemples d'aménagements agricoles pris sur chacun des trois continents : Asie (Bornéo), Afrique (Sierra Leone) et Amériques (Guyanes), en précisant que nous avons eu l'occasion d'observer sur le terrain les aménagements des guyanes (1964, 1969) et ceux de Bornéo (1983).

a) Kalimantan (Bornéo - Indonésie)

Dans une île réputée pour sa sous-population (9 habitants au km²) par rapport à Java, les zones marécageuses situées dans les estuaires sont surpeuplées. A l'occasion de l'étude de l'estuaire de Barito (Août 1983), nous avons pu observer les techniques d'utilisation et d'aménagement de ces sols. On estime à environ 250 000 ha les superficies cultivées, en riz principalement, mais aussi en cocotier, bananier, caféier, canne à sucre, agrumes, ananas.

L'utilisation actuelle de ces sols tourbeux est le résultat de très nombreuses années d'expérience acquise par les populations locales. Le principe est de maintenir les sols inondés en permanence afin d'empêcher leur oxydation et donc leur acidification. Par ailleurs, l'inondation est exclusivement assurée par la marée dont l'eau à l'avantage d'être ici toute l'année douce (2mmhos en saison sèche). C'est donc une *riziculture inondée tidale*.

Depuis 1922 et à l'occasion des programmes de transmigration, plusieurs systèmes d'aménagements ont retenu l'attention des autorités :

- le système du *drainage contrôlé* (VAN WIJK) dans lequel les inondations saisonnières et l'eau stockée dans les couches de tourbe épaisses devaient fournir l'eau nécessaire à l'irrigation ;
- en 1958, le "*tidal swamp system*" proposé par PANGERAN M. NOOR, basé sur l'irrigation par les marées hautes, suivie du drainage par gravité, à marée basse. Mais dans les zones internes où l'influence de la marée est limitée, ce système n'a pas donné les résultats escomptés car les sols se sont acidifiés ;
- la *poldérisation*, proposée en 1950 par SCHO-

PHUYS, et en partie réalisée plus tard. Ce système nécessite la construction de canaux, l'installation de pompes et de valves automatiques pour l'irrigation avec l'eau du fleuve, l'installation de valves automatiques pour contrôler le drainage, l'utilisation d'engrais, la mécanisation... Compte tenu du coût élevé des investissements, ce système n'a pas été utilisé à une grande échelle.

- Système "*Gadjah Mada University*". C'est finalement ce système qui est utilisé à grande échelle dans la région. Le principe est inspiré des méthodes traditionnelles. Un canal primaire, perpendiculaire à la rivière se divise en deux canaux secondaires qui se terminent eux-mêmes dans des bassins réservoirs. Des canaux tertiaires partant des canaux secondaires permettent la pénétration effective de l'eau à marée haute. Les entrées des canaux tertiaires sont plus resserrées à proximité de la rivière qu'à l'intérieur des terres afin d'obtenir une décharge égale de tous les canaux tertiaires à marée basse.

Les bassins réservoirs stockent les eaux de drainage qui sont ensuite remises dans le circuit pour l'irrigation, ce qui pose naturellement des problèmes, les eaux de drainage étant souvent acides et il semble qu'à l'avenir, il faudra songer à isoler les deux systèmes : irrigation et drainage.

b) Guyanes

A la suite de plusieurs missions effectuées en Suriname et en Guyana, nous avons publié deux articles (MARIUS et al., 1964 ; MARIUS et al., 1969) dans lesquels nous avons consigné nos observations sur l'aménagement des sols de mangroves dans ces deux pays, car c'est là que s'est développée toute l'agriculture, notamment ces dernières années, à l'inverse de la Guyane française qui, malgré l'exemple de ses voisins n'a pas su tirer partie de la fertilité des "Terres Basses" et a développé son agriculture sur les Terres Hautes.

Le choix des surfaces à mettre en valeur dans la zone des argiles marines récentes fait appel à une série de critères fondamentaux concernant le sol. Le type de culture est sélectionné ensuite en fonction des critères humains et économiques.

On étudie :

- les possibilités d'accès : cordons sableux, fleuves navigables ;
- les caractéristiques pédologiques, morphologie du profil, perméabilité, épaisseur et nature de la couche de tourbe, évolution probable de l'argile marine, acidité, développement de la structure...
- les possibilités d'apport d'eau douce pour l'irrigation :

fleuves ou rivières dont on contrôle le front de salinité, savanes marécageuses à tourbe épaisse pouvant servir de réservoir (Guyana).

Dans les deux Guyanes, la culture principale est le riz qui est faite par de petits agriculteurs en Guyane, alors qu'en Suriname, elle est faite sous forme de grandes exploitations mécanisées, de plusieurs milliers d'hectares (WAGENINGEN polder, PRINZ BERNARD Polder...).

La riziculture exige qu'on enlève la couche de tourbe, alors que pour le bananier, on choisit des sols à couche de tourbe de l'ordre de 20 à 50 cm, aussi l'option prise au départ est-elle importante, car le style d'évolution du polder est souvent irréversible. Les deux Guyanes étant, dans l'ensemble, très sous-peuplées, c'est donc essentiellement sous forme de "polders" qu'ont été aménagées les zones marécageuses, mais l'endiguement de ces zones n'a pas été identique. En effet, en Guyana, les premiers colons hollandais ont réalisé le tour de force de jeter une digue à l'extérieur de la mangrove séparant le continent de la mer et à l'heure actuelle, Georgetown, la capitale, est au-dessous du niveau de la mer. Le rideau de palétuviers a fait place à des prés salés et toute la bande côtière est habitée.

Tandis que la canne à sucre s'est établie le long des fleuves, le riz s'est implanté à partir des terres salées proches de la mer et progresse vers l'intérieur. L'irrigation est assurée par l'eau stockée dans la tourbe épaisse des savanes marécageuses.

Ce sont d'ailleurs les deux principales spéculations agricoles de ce pays.

Au Suriname, le choix s'est porté sur les argiles à couche de tourbe épaisse. On a délimité et endigué à l'intérieur de la Plaine Côtière, les zones adéquates, laissant ainsi intacts, en aval, la mangrove et les sols salés à couche de tourbe peu épaisse.

Outre le riz et le bananier déjà cités, les cultures sont plus variées : agrumes, canne à sucre, pâturage, cacaoyer...

En Guyane française, c'est à la suite d'une impossibilité à choisir une spéculation agricole que le polder "Marie-Anne" de 360 hectares, aménagé pendant les années soixante, a dû être abandonné. Le choix était entre la riziculture et le bananier, c'est-à-dire donc, entre enlever la couche de tourbe ou la maintenir. Des contraintes économiques : riz moins cher au Suriname et Antilles productrices de bananes ont fait abandonner le projet.

c) La Sierra Leone

L'étude de l'aménagement des mangroves pour la

riziculture a fait l'objet de très nombreuses études de chercheurs de la station de Rokupr, en particulier de HART, CARPENTER, JEFFERY (1963). Les sols sont, en majorité, potentiellement sulfatés-acides et le schéma d'aménagement proposé est le suivant :

- établissement de polders ;
- assèchement aussi complet que possible pour obtenir le maximum d'oxydation ;
- réintroduction de l'eau de mer pour entraîner rapidement les acides et apporter des ions métalliques qui déplacent H^+ ;
- établissement d'un polder permanent ;
- chaulage ;
- lessivage par les eaux pluviales pour dessaler les sols.

3. AMENAGEMENT DES MANGROVES DE LA CASAMANCE (SENEGAL)(1)

Dès les premiers jours de l'Indépendance, le gouvernement sénégalais avait élaboré un programme d'aménagement hydro-agricole de la Casamance et les premières études ont été effectuées par le GERCA en 1963. Deux périodes se distinguent nettement dans les projets d'aménagements de la Basse Casamance. La période 1963-1975 que l'on pourrait qualifier la période "ILACO" du nom de la société qui a effectué toutes les études et démarré une partie des travaux. Il s'agit de International Land Consultants et la période post ILACO qui commence en 1975 et au cours de laquelle nous avons participé activement à l'élaboration des projets d'aménagements et à une partie des études pédologiques. Nous passerons brièvement en revue ces deux périodes, après avoir au préalable indiqué le principe qui a guidé ces projets.

A. Principe

L'idée de départ a été qu'on disposait de grandes surfaces vierges de mangroves en bordure des affluents de la Casamance et que l'aménagement de ces terres pour la riziculture ne se heurtait pas à des problèmes fonciers comme c'était le cas pour les rizières douces.

Les aménagements envisagés consistaient à maîtriser la salinité des eaux et des sols grâce à la construction de digues et barrages anti-sels et à un drainage des sols de manière à les dessaler. Une digue en terre barre le lit majeur du marigot au dessus du niveau des plus hautes eaux. Sur le lit mineur est construit un "barrage clapet"

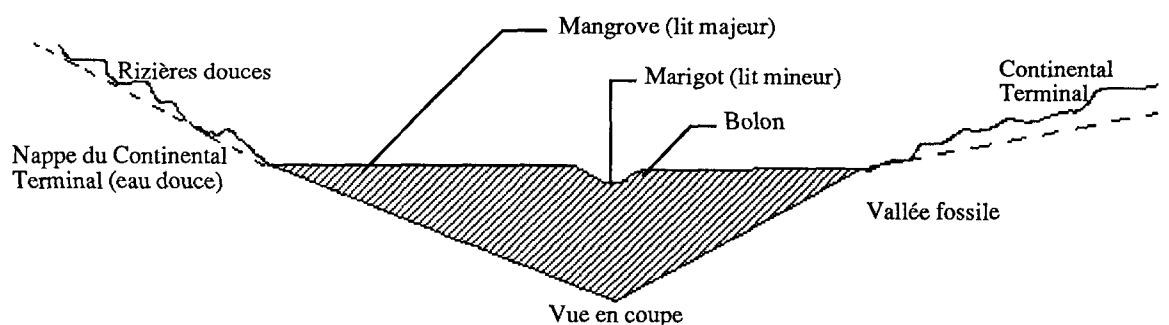
(1) Une étude complète du milieu naturel de la Casamance est présentée dans la communication de M. AUBRUN.

en béton, muni de portes battantes en bois qui permet l'évacuation des eaux d'amont (donc le dessalement des terres d'amont) et s'oppose à l'invasion du marigot par les eaux marines d'aval. En empêchant pendant tout l'hivernage le mélange des eaux de pluies avec les eaux marines d'aval, le barrage assure une meilleure efficacité du lessivage naturel et donc un dessalement plus

précoce.

Après la fin de l'hivernage, il s'oppose au reflux des eaux marines dans les marigots. En outre, le marigot bénéficie d'apports complémentaires d'eau douce grâce au drainage de la nappe du Continental Terminal (Fig. 1)

Figure 1 - Principe de l'Aménagement des vallées affluentes de la Casamance - Vue en coupe



Le barrage empêchant le mélange des eaux douces et des eaux marines, le lit majeur pouvait être cultivé en riz pendant une période suffisamment longue pour que la production rizicole devienne sûre.

Comme on peut le constater, tout avait été axé sur le dessalement des terres et rien n'avait été prévu pour lutter contre l'acidification éventuelle de ces sols.

B. Période ILACO

La société ILACO a axé ses travaux sur 2 vallées : la vallée de Guidel, située sur la rive gauche de la Casamance, en amont de Ziguinchor, et sur la vallée de Nyassia, bras principal du Kamobeul bolon. Elle a effectué l'étude complète du milieu naturel de ces deux vallées et élaboré les projets de barrages. Parallèlement, elle a réalisé des études et quelques petits aménagements dans les vallées de Baïla, Bignona, Soungrougrou et Tobor. Les problèmes de dessalement et d'acidification ont été étudiés dans deux polders expérimentaux : Medina et N'Dieba par G. BEYE (1972, 1973, 1975). La notice explicative accompagnant la carte des sols au 1/20 000° de Guidel de l'ILACO montre que la majeure partie de la partie aval de la vallée était recouverte d'une mangrove mixte à Rh. mangle et Avicennia et trois grandes unités de sols ont été distinguées : les sols sur Continental Terminal, les sols de transition (50 cm de sédiments marins sur C.T.) et les sédiments marins formés de sols de mangroves et de tannes, l'ILACO concluait son étude en ces termes : "Les sols des mangroves sont très aptes à l'aménagement des rizières, à cause de leurs fortes teneurs en matières organiques..." "La crainte autrefois exprimée que le pH des sols de mangroves serait très bas après dessèchement ne s'est pas réalisée. Les pH s'abaissent jusqu'à 3,9 en moyenne (5 en moyenne) et par humidi-

fication, par eau douce, remontent de nouveau (5,5 - 6) pour que la riziculture soit possible". Plusieurs centaines d'hectares de mangroves ont ainsi été aménagés, notamment avec des canaux de drainage profonds, pour lessiver les sels.

On notera que dans toutes ces études préliminaires, tant pour Nyassia que pour Guidel, les teneurs en soufre des sols n'ont pas été évaluées. Le résultat le plus immédiat et le plus spectaculaire de ces aménagements a été une baisse rapide et importante du pH. Dans les parcelles aménagées de Tobor, nous avons relevé en 1972 un pH de 2,5 qui ne s'est jamais relevé. Si on ajoute à cela une sursalure généralisée des sols et des eaux résultant des années de grande sécheresse (1972-1973), on comprendra aisément que la plupart de ces aménagements aient dû être abandonnés.

C. Période post-ILACO

Elle démarre vers 1976 avec l'établissement par la Direction de l'Équipement Rural du Sénégal, des projets d'aménagements rizicoles de tous les marigots (bolons) de la Basse Casamance.

Nous avons collaboré activement, d'une part, à l'élaboration des termes de références pour la partie pédologique des projets, d'autre part à la prospection et à la cartographie de trois marigots (Baïla, Guidel et Bignona). Toutes les vallées ont été cartographiées au 1/20 000° grâce à une couverture photographique aérienne infrarouge réalisée par l'I.G.N., généralement à 1/10 000°. Les travaux ont été réalisés par DAFPE et TOUJAN (1980) pour le Soungrougrou, par BROUWERS (1980) pour le Kamobeul, par AUBRUN et MARIUS (1980) pour Baïla, par MARIUS et CHEVAL (1980) pour Guidel et par AUBRUN et

MARIUS (1986) pour Bignona. La comparaison des photos I.R.C. récentes (78-79) avec celles de 1969 confirme de manière claire nos observations sur la séquence de Balingore, notamment la disparition massive de la mangrove à palétuviers réduite généralement à un mince rideau en bordure des marigots et l'extension considérable de la mangrove décadente et des tannes (1) à moquette aux dépens de la mangrove mixte à Rh. mangle et Av. africana.

Par ailleurs, dans toutes les zones aménagées par l'ILA-CO et abandonnées (Guidel, Kamobeul) on observe une importante reprise d'Avicennia sur un tapis dense de Sesuvium portulacastrum et au terme de notre étude de la vallée de Guidel, nous avons pu conclure que : Les effets conjugués de la sécheresse et des aménagements ont provoqué une importante transformation des 40-50 cm superficiels. Il y a eu tassement, baisse du taux de matière organique -mieux évoluée- acidification modérée et baisse du taux de soufre en surface. En revanche, il y a eu une augmentation considérable de la salinité des sols et des nappes. Mais on notera que dans l'ensemble, l'évolution de ces sols a été moins catastrophique qu'on aurait pu le penser, et que somme toute, la sécheresse n'a fait qu'accélérer une évolution naturelle de ces sols, parce que non provoquée par l'homme. Ils sont donc en voie de "tannification". En conclusion, tous les projets d'aménagements de ces vallées doivent résoudre les contraintes liées à la salinité d'une part et à l'acidité d'autre part.

a) Contraintes liées à la salinité

Le riz aquatique et notamment le riz prégermé supporte des salinités relativement élevées et surtout n'exige pour pouvoir être repiqué qu'un dessalement assez peu profond, d'environ 10 à 20 cm. BROUWERS (1980) a calculé les quantités d'eau douce nécessaires, en mm, pour ramener la salinité du sol au seuil de tolérance pour le riz (tableau 1). On constate, d'après ce tableau, que le riz peut être repiqué après un excédent hydrique de 300 à 500 mm si le seuil de tolérance au sel est de 5 mmhos et après 250 à 500 mm si ce seuil est de 7,5 mmhos. Or ces conditions sont réalisées entre le début et la mi-août les années normales et entre mi et fin août les années sèches, et l'on remarquera que de manière empirique, les populations locales repiquaient le riz vers la fin août. Par ailleurs, dans le cas de sols très salés, il est souhaitable de démarrer le lessivage des sels avec l'eau des marées de vives-eaux, en hivernage, pour éviter une floculation brutale des vases et donc leur imperméabilisation, mais en tout état de cause, la confrontation des données du tableau, avec les données climatiques montre que si le dessalement annuel de terres mêmes très salées peut être facilement réalisé, l'excédent hydrique n'est cependant pas suffi-

sant pour assurer le cycle de croissance du riz jusqu'à son terme, notamment les années sèches et qu'il manque environ deux mois d'eau douce pour maintenir les sols dessalés.

Tableau 1 : Besoins en eau pour dessaler les terres (d'après BROUWERS, 1980)

Quantités d'eau douce nécessaires pour ramener la salinité du sol au seuil de tolérance pour le riz, en mm

a) Pour une profondeur de dessalage équivalente à 10 cm eau à H.S.

Seuil de tolérance (ECe en mmho)	Type de sol (exprimé en % H.S.)				
	20	35	62	80	125
Salinité initiale (EC10) : 20 000 mmho					
5 000			550	500	450
7 500			500	450	400
12 000			450	400	350
Salinité initiale (EC10) : 10 000 mmho					
5 000	500	500	450	400	350
7 500	550	450	400	350	300
12 000	500	400	350	300	250
Salinité initiale (EC10) : 5 000 mmho					
5 000	500	450	350	350	300
7 500	450	400	300	300	250
12 000	400	350	250	200	150

b) Pour une profondeur de dessalage équivalente à 20 cm eau à H.S.

Seuil de tolérance (ECe en mmho)	Type de sol (exprimé en % H.S.)				
	20	35	62	80	125
Salinité initiale (EC10) : 20 000 mmho					
5 000			950	900	800
7 500			850	800	700
12 000			750	700	600
Salinité initiale (EC10) : 10 000 mmho					
5 000	1050	900	800	750	650
7 500	950	750	700	650	550
12 000	900	700	600	550	450
Salinité initiale (EC10) : 5 000 mmho					
5 000	900	800	650	600	500
7 500	800	700	550	500	400
12 000	700	600	450	400	300

H.S. humidité à saturation totale

En ce qui concerne le dessalement des sols par drainage, G. BEYE (1975) a établi le bilan de cinq années d'études de dessalement des sols du polder de Medina sur la vallée de Nyassia. Il constate un dessalement absolu pour tous les modes de drainage utilisés. Le dessalement de l'hivernage est essentiellement tributaire de la pluviométrie, seule source d'eau. Le ressalement de saison sèche est général mais son intensité dépend du type de drainage. Le drainage par gravité avec fossés peu profonds communiquant directement avec le marigot en saison des pluies joint à un assèchement en saison sèche s'avère le plus favorable car il permet un

(1) Les tannes sont des zones nues, situées en arrière des mangroves et résultant de l'évolution de celles-ci par sursalure.

dessalement suffisant pendant l'hivernage en année normale. Quant au dessalement par pompage, il s'avère que le drainage le plus efficace est le drainage par fossés de 1 m de profondeur, avec 20 m d'écartement.

D'autres techniques comme le paillage ou le mulch peuvent favoriser aussi le dessalement (BEYE, 1973). A cet égard, on peut signaler que la présence d'un tapis épais de *Sesuvium* dans les zones aménagées est un facteur favorable pour le dessalement, car il limite l'évaporation pendant la saison sèche.

b) Contraintes liées à l'acidité

A l'état naturel, les sols de mangroves ont un pH voisin de 6 et on a vu que le drainage profond de ces sols avait conduit à une baisse brutale du pH allant jusqu'à 2,5 (Tobor). A Guidel, et dans la plupart des aménagements abandonnés, les 50 cm superficiels sont sulfatés-acides avec de la jarosite, et un pH de l'ordre de 4. De même, la plupart des sols des tannes vifs ou herbacés ont un pH de 3,5 - 4. Mais dans tous les cas, ce sont des sols sulfatés-acides et les transformations chimiques qui se produisent dans ces sols, lorsqu'ils sont inondés pour la riziculture sont d'un intérêt particulier.

En effet, la réduction de ces sols à la suite de leur inondation provoque une augmentation rapide et importante de deux éléments toxiques pour le riz : le fer ferreux dissous et l'aluminium dissous. A des taux supérieurs à 300 - 400 p.p.m., le fer ferreux est toxique pour le riz, or des valeurs nettement plus élevées ont été signalées dans des sols sulfatés-acides, inondés et riches en matière organique.

A des pH inférieurs à 3,5 - 4, la toxicité aluminique affecte la croissance du riz, et inhibe totalement les effets des engrais azotés, phosphatés et calciques et il semble qu'en milieu salé les effets de ces deux toxicités soient accrus par les taux de fer et d'aluminium, plus élevés, libérés dans la solution du sol (PONNAMPERUMA, 1976). VAN BREEMEN et PONS (1978) signalent que d'une manière générale, la toxicité ferrique est fréquente et très marquée dans les sols sulfatés-acides jeunes et beaucoup plus rare dans les sols développés (para-sulfatés-acides). En l'absence de toxicité aluminique et ferrique, les sols sulfatés-acides salés ont une déficience marquée en phosphore.

D. Techniques d'aménagement et de mise en valeur des sols de mangroves de Basse Casamance

Ces techniques doivent avoir pour objectifs de dessaler au mieux la partie superficielle de ces sols, tout en prévenant leur acidification et en ce qui concerne la Basse Casamance, trois cas sont à envisager :

- les sols de mangroves - potentiellement sulfatés-acides -

non évolués.

- les sols des zones aménagées de l'ILACO et des tannes, évolués en surface qui sont des sols sulfatés-acides jeunes.

- les sols des tannes vifs, rarement atteints par les marées, à profils très développés mais dont les surfaces sont généralement limitées.

Dans tous les cas, il faut chercher à limiter l'oxydation de la pyrite et essayer de freiner le développement de l'acidité existante en maintenant la nappe phréatique au dessus de l'horizon pyritique réduit et proche de la surface.

a) Les sols de mangroves ne s'acidifient pas tant qu'ils seront sous l'influence des marées. Il faut donc chercher à dessaler l'horizon superficiel et les techniques d'aménagement ne peuvent que s'inspirer des méthodes traditionnelles pour les améliorer en leur adjoignant notamment des réseaux de fossés peu profonds (30-50 cm) et peu espacés (20-25 m) dans lesquels pourrait circuler librement l'eau de la marée. Or, nous avons vu que le facteur limitant principal, résultant de la sécheresse de ces dernières années était le manque d'eau douce en fin d'hivernage pour permettre au riz de finir sa croissance. Et ce sera, à notre avis, la fonction essentielle des barrages prévus dans les différentes vallées.

L'eau des marigots est généralement dessalée en août et septembre et elle doit circuler librement pour dessaler la partie superficielle des sols. En fin d'hivernage (octobre-novembre), le barrage serait fermé pour stocker l'eau douce et même empêcher la remontée des eaux salées dans les rizières. Après la récolte du riz, le barrage serait réouvert pour permettre à l'eau de la marée de circuler à nouveau et neutraliser les produits acides éventuellement formés.

b) Les sols sulfatés-acides jeunes

Ce sont les sols les plus difficiles à récupérer, notamment quand l'acidification résulte d'un drainage artificiel. En effet, c'est dans ces sols que les phénomènes de réduction sont les plus intenses et que les taux de fer ferreux dissous sont les plus élevés, quand ils sont inondés. L'eau de la nappe est par ailleurs souvent acide. Deux voies sont possibles pour leur récupération :

- un drainage profond et intensif avec lessivage massif des composés soufrés, de préférence avec de l'eau de mer pendant plusieurs années (5 - 10 ans, ou plus). Ils pourront être ensuite "poldérisés" de manière définitive, comme les sols de type (c), mais nécessiteront des amendements calciques importants pour relever le pH.

- il faut essayer de limiter au maximum les effets de la

toxicité ferrique en jouant simultanément avec l'eau de la marée pour relever le pH et une quantité suffisante d'eau douce pour que la plus grande partie du fer dissous puisse être soit éliminé par la chasse tidale, soit précipité sous forme de sulfure insoluble et l'on revient aux sols de type (a).

c) Les sols de tannes évolués

Ils peuvent être "poldérisés" et, à terme, définitivement dessalés par un aménagement en casiers et réseaux de fossés. Pour empêcher leur resalinisation par la nappe en saison sèche, diverses techniques peuvent être utilisées : paillage, avec la paille de riz restée après la récolte, pratique du mulch végétal, ou même couverture avec des espèces tolérantes au sel (*Paspalum*).

Ces techniques qui permettent de réduire fortement l'évaporation en saison sèche sont déjà utilisées par les populations locales, avec un certain succès (Baïla, Tabor) et elles présentent l'avantage de pouvoir être utilisées sur des surfaces réduites avec des moyens de terrassement simples.

d) Morphodynamique actuelle et risques d'érosion

Au plan morphodynamique, la Basse Casamance est une zone actuellement "stable" et les phénomènes d'érosion ou d'alluvionnement sont très limités. L'examen des photos aériennes depuis 1954 montre que le cours des chenaux n'a pas changé. De même, le réseau des fossés creusés par l'ILACO dans les années 60 est encore intact. Les seules manifestations morphodynamiques observées sont :

- les accumulations éoliennes, sous forme de "lunettes" dont l'extension est relativement importante, à mesure qu'on remonte vers le Nord (vallée de Baïla). Ces lunettes qui sont essentiellement sableuses sont souvent colonisées par une végétation halophyte herbacée et sont relativement étendues dans le cas de lunettes anciennes ; les plus petites quand elles se sont formées au cours de la décennie sèche.

- des entailles à rigoles d'érosion pluviale qui se forment au contact tanne vif - rizières abandonnées et tanne vif - bolon. Elles sont dues à une combinaison particulière de circonstances édaphiques, à savoir :

- . dans le premier cas, ces entailles sont dues au ressassage des terres, suite à l'absence d'entretien des diguettes qui les protégeaient contre les hautes marées d'hivernage, ce qui provoque la dispersion de l'argile de l'horizon superficiel ;

- . dans le second cas, c'est le dessalage sous l'effet des pluies qui fait perdre à la surface du sol sa cohésion.

En résumé, trois facteurs contribuent à donner à la

Basse Casamance sa stabilité morphodynamique actuelle :

- la grande platitude de la région ;
- la faible vitesse du courant dans les marigots ;
- l'aménagement traditionnel sous forme de petits casiers.

Tout aménagement ou modernisation de l'agriculture traditionnelle risque de rompre l'équilibre actuel et en ce qui concerne les mangroves, leur point faible se situe au niveau des berges qu'il faut protéger de l'érosion en maintenant une frange de palétuviers dont les racines assurent la cohésion du matériau. Ils faut aussi éviter que les bateaux à moteur puissants et rapides empruntent les marigots pour que les vagues qu'ils provoquent n'affouillent les berges.

4. Aquaculture

S'agissant de l'aménagement des mangroves nous avons surtout insisté jusqu'à présent sur leur mise en valeur agricole et principalement sur la riziculture. Or il existe d'autres options d'aménagement des mangroves et notamment des mangroves salées ou saumâtres. Il s'agit de l'aquaculture qui se développe de plus en plus dans cet écosystème d'autant que parfois cette option est plus rentable que la riziculture. En effet, les mangroves salées sont généralement riches en poissons, crevettes, crustacés, huîtres et coquillages de toutes sortes. C'est là que se trouve souvent le point de départ d'une chaîne alimentaire importante, aussi la destruction de la mangrove peut elle avoir des conséquences désastreuses sur la pêche hauturière.

Certaines techniques aquacoles peuvent accroître les rendements des pêches côtières et la méthode la moins dangereuse du point de vue écologique est l'aquaculture en eau libre, car la pose de nasses ou de cages fixes n'a qu'une faible incidence sur le milieu physique de la zone de mangrove adjacente et ne perturbe donc pas l'équilibre de l'écosystème. Par contre l'aquaculture en bassin présente certains dangers pour le milieu environnant puisqu'il faut abattre des arbres pour dégager le terrain et y construire des digues ou autres systèmes de rétention des eaux saumâtres et quand les marées, les substrats et la composition chimique des eaux sont favorables, les prises de poissons et de crevettes peuvent être considérables. Mais cette aquaculture intensive en bassin fait courir les plus grands dangers à l'environnement, car les risques de pollution sont élevés en raison de l'emploi massif d'engrais, d'aliments et de produits anti-parasites que cette technologie exige et les mangroves peuvent même disparaître totalement à la suite des coupes auxquelles il a fallu procéder pour aménager les bassins et construire les bâtiments, les voies d'accès, etc...

5. Conclusions

Les mangroves qui couvrent plus de 15 millions d'hectares en Afrique tropicale, en Asie et en Amérique latine sont l'un des écosystèmes les plus menacés de la planète. La mise en valeur des terres, l'exploitation forestière inconsidérée, le développement parfois abusif de l'aquaculture et naturellement la pollution mettent en danger de précieuses ressources naturelles : bois d'œuvre, charbon de bois, produits des palmiers, sans parler d'espèces de poissons nombreuses et très appréciées. La végétation terrestre et la faune marine coexistent en un équilibre fragile encore mal connu. Ce que l'on sait par contre, c'est que cet équilibre ne résiste pas à des interventions brutales ; aussi les projets d'aménagements des mangroves doivent-ils toujours tenter de concilier les intérêts de la production (agricole et piscicole) et l'intégrité de l'écosystème. Ces projets nécessitent donc des études sur le milieu physique ainsi que des études socio-économiques sur la base desquelles serait planifiée l'utilisation de ces milieux. Pour cela, il est nécessaire d'intensifier la recherche interdisciplinaire qui seule permet d'établir des projets viables de développement intégrant la foresterie, les pêches et les activités agricoles.

En ce qui concerne plus particulièrement le Sénégal, on retiendra que les projets de barrages sur les marigots de la Basse Casamance ont été conçus dans le but de produire deux récoltes de riz par an, "afin de dégager des surplus pour l'exportation". Or, compte tenu des aléas climatiques (sécheresse prolongée) et de l'environnement naturel (apports d'eau douce très réduits), il est avant tout *urgent* d'assurer aux populations locales une récolte de riz par an en leur fournissant un appoint d'eau douce en fin d'hivernage et ce sera, nous le répetons, la seule fonction des barrages.

Par ailleurs, il serait plus judicieux de construire plusieurs petits barrages sur les bras secondaires des grands marigots que quelques grands barrages en aval de ceux-ci, et il est totalement exclu que ces barrages soient destinés à arrêter de manière définitive l'entrée de l'eau salée dans les marigots, car alors les conséquences sur l'environnement écologique seraient catastrophiques. En effet, d'une part on verrait alors disparaître une grande partie de la faune (crevettes, huitres, poissons, coquillages...) qui est non seulement nécessaire à l'alimentation des populations locales, mais constitue aussi une source importante de revenus par son exportation, et d'autre part, on verrait aussi apparaître par suite de la pollution des eaux douces en arrière des barrages de nombreuses maladies (typhoïde, bilharziose, onchocercose) pour le moment inconnues dans cette région. Une telle catastrophe écologique a été déjà signalée dans d'autres parties du monde (Kerala, Inde, 1978).

En conclusion, l'utilisation et l'aménagement des man-

groves du Sénégal doivent être conçus de manière à assurer un développement équilibré et harmonieux des diverses activités liées à ce milieu écologique riche de potentialité,

- *pêche*, par le développement de l'aquaculture (crevettes, parcs à huitres) dans les tannes ;

- *riziculture*, par la construction de petits barrages-écluses pour assurer l'appoint d'eau douce en fin d'hivernage ;

- *tourisme* villageois s'intégrant au milieu et s'inspirant du modèle de la Basse Casamance.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AUBRUN A. et MARIUS C. (1980) - Programme de développement de la vallée de Baïla. Etude pédologique - ORGANISATION et ENVIRONNEMENT, Paris, 116 p., 6 cartes au 1/20 000°.

AUBRUN A. et MARIUS C. (1986) - Etude pédologique sur la vallée de Bignona en Casamance. Organisation et environnement. Rapp. mult. 106 p. + annexes + 4 cartes, sept. 1986.

BASSOULET Ph., DJUWANSAN R., GOULEAU D. et MARIUS C., 1986 : Hydrosedimentological processes and Soils of the Barito Estuary (Indonesia). Oceanologica Acta, 1986, p. 217-226.

BEYE G. (1973) - Une méthode simple de dessalement des sols de tanne de Casamance : le Paillage. *L'Agro. Trop.*, 5, p. 538-549.

BEYE G. (1975) - Bilan de cinq années d'études du dessalement des sols du polder de Medina. *L'Agro. Trop.*, 3, p. 252-259.

BEYE G. (1973) - Acidification of mangrove soils after empoldering in Lower Casamance. Effects of the type of reclamation system used. in : Acid Sulphate Soils - DOST (éd.) Publ. ILRI 18, Wageningen, vol. 2, p. 359-372.

BLOOMFIELD C. et COULTER J.K. (1973) - Genesis and management of acid sulfate soils. *Adv. in Agronomy*, 25, p. 265-326.

BREEMEN van et PONS L.J. (1978) - Acid Sulfate Soils and Rice in : Soils and Rice. I.R.R.I. Los Banos Philippines, p. 739-761.

BROUWERS M. (1980) - Etude économique et technique du barrage de Kamobeul. Etude pédologique, vol. 1, I.R.A.T., Montpellier, 80 p.

DAFFE et TOUJAN (1979) - Etude pédologique de factibilité pour l'aménagement rizicole de la vallée du Soungrougrou. SONED-Dakar, 28 p.

- DRIESSEN P.M. et ISMANGUN (1973) - Pyrite containing sediments of southern Kalimantan, Indonesia. Their soils, management and reclamation. Acid. Sulphate Soils, DOST (éd), Publ. ILRI 18, vol. II, p. 345-356.
- HART M.G.R., CARPENTERA.J. et JEFFERY J.W. (1965) - Problems in reclaiming saline mangrove soils in Sierra Leone. *Sols Africains*, 10 (1) p. 71-75.
- MARIUS C. (1981) - Caractérisation et utilisations de quelques sols sulfaté-acides de Thaïlande et de Malaisie. ORSTOM - Institut de Géologie, Strasbourg, *multigr.*, 20 p.
- MARIUS C. (1982) - Acid sulphate soils of mangrove area in Senegal and Gambia. in DOST (éd). Proceed. of the Bangkok Symposium on acid sulphate soils. Publ. ILRI, Wageningen, n° 31, p. 103-135.
- MARIUS C. (1982) - Les sols de mangroves du Sénégal et de la Côte Orientale de l'Inde. Etude comparative. Comm. au 12ème Congrès Int. de la Sc. du Sol. New Delhi, fév. 1982.
- MARIUS C. et CHEVAL M. (1979) - Les sols des mangroves et tannes de la région des Kalounayes. ORSTOM Dakar, *multigr.*, 10 p.
- MARIUS C. et CHEVAL M. (1980) - Note sur les sols de la vallée de Guidel. ORSTOM Dakar, *multigr.*, 13 p.
- MARIUS C. et LUCAS J. (1982) - Evolution géochimique et exemple d'aménagement des mangroves au Sénégal (Casamance). *Oceanologia Acta*, n° Sp., p. 151-159.
- MARIUS C., PAYCHENG C. et LOPEZ J. (1976) - La détermination du soufre et de ses composés au laboratoire ORSTOM de Dakar, ORSTOM Dakar, *multigr.*
- MARIUS C. et TURENNE J.F. (1968) - Problèmes de classification et de caractérisation des sols formés sur alluvions marines récentes dans les Guyanes. *Cah. ORSTOM*, Série Pédo VI, 2, p. 151-201.
- MARIUS C. (1985) - Mangroves du Sénégal et de Gambie. Ecologie - Pédologie - Géochimie - Mise en valeur et aménagement. T. et D. ORSTOM, n° 193.
- MOORMANN F.R. et BREEMEN N. van (1978) - Rice, Soil, Water, Land. I.R.R.I. Los Baños-Laguna. Philippines, 185 p.
- MOORMANN F.R. et PONS L.J. (1975) Characteristics of mangrove soils in relation to their agricultural land use and potential. Proc. Int. Symp. on biology and management of mangroves. East-West Center Honolulu, p. 529-547
- PONNAMPERUMA F.N., ATTANANDANA T. et BEYE G. (1973) - Amelioration of three acid sulphate soils for lowland rice. Acid Sulphate Soils, DOST (éd.) Publ. ILRI, 18, Wageningen, p. 391-406
- SOURDAT M. et MARIUS C. (1964) - Mission pédologique en Guyane Britannique. *Bull. Biblio. de Pédo.*, XIII, 4, p. 22-25.
- VIEILLEFON J. (1977) - Les sols de mangroves et tannes de Basse Casamance. Mém. ORSTOM, n° 83, 291 p.
- WIJK C.L. van (1951) - Soil survey of the tidal swamps of south Borneo in connection with the agricultural possibilities. Contr. Gen. Agr. Sta., n° 123, Bogor, Indonesia.