

Évolution géochimique et exemple d'aménagement des mangroves au Sénégal (Casamance)

Géochimie
Aménagement
Mangrove
Sénégal

Geochemistry
Management
Mangrove
Senegal

C. Marius, J. Lucas
ORSTOM, Institut de Géologie, 1 rue Blessig, 67084 Strasbourg, France.

RÉSUMÉ

Les mangroves du Sénégal qui sont les mangroves les plus septentrionales de type atlantique sur la côte africaine, sont localisées, l'une au débouché d'un fleuve à faible débit (la Casamance), l'autre, dans un véritable bras de mer (Sine-Saloum).

Le climat de la région est caractérisé par deux saisons très contrastées et avant le cycle de sécheresse qui s'est abattu sur le Sahel, la pluviométrie était de 1 500 mm en Casamance et de 900 mm dans le Saloum. La répartition des formations végétales était différente dans les deux estuaires et liée, d'une part au climat, d'autre part à la nature du substrat — vase argileuse en Casamance et vase sableuse dans le Saloum.

L'étude minéralogique et géochimique des sédiments provenant d'une trentaine de forages profonds montre que les séries sont peu épaisses au-dessus du continental terminal. Kaolinite et smectite représentent plus de 90 % de la fraction argileuse. La kaolinite provient du continental terminal tandis que la smectite est apportée par la mer. Le rapport kaolinite/smectite permet d'apprécier l'influence relative des apports continentaux et marins et donc d'esquisser l'évolution paléogéographique des régions étudiées. La composition chimique des mangroves est remarquablement stable et le rôle de l'argile y est particulièrement prépondérant comme support de la matière organique et de la pyrite.

Depuis 1968, on assiste à une diminution généralisée de la pluviométrie dans tout le Sénégal avec un déficit de l'ordre de 30 % en Casamance accompagné d'une contraction de la saison des pluies (3 mois au lieu de 5). Les conséquences sont : une augmentation importante de la salinité des cours d'eaux et des nappes phréatiques, une modification considérable de la zonation végétale en Casamance se traduisant notamment par l'extension des zones nues, « les tannes », aux dépens de la mangrove, une évolution des caractères morphologiques et géochimiques des sols.

Les mangroves de Casamance sont utilisées traditionnellement pour la riziculture. La sécheresse a considérablement diminué la production rizicole ces dernières années. De nombreux projets d'aménagements hydro-agricoles ont été élaborés : construction de barrages et drainage des terres protégées pour accélérer le dessalement. Il en est généralement résulté une acidification brutale et élevée des sols. Nous proposons d'autres schémas d'aménagements pour les futurs projets.

A l'encontre de la plupart des mangroves de zones tropicales humides, celles du Sénégal présentent un équilibre très fragile. L'étude de leur évolution permet de saisir les transformations géochimiques, généralement rapides et brutales, de cet écosystème particulier.

Oceanol. Acta, 1982. Actes Symposium International sur les lagunes côtières, SCOR/IABO/UNESCO, Bordeaux, 8-14 septembre 1981, 151-160.

ABSTRACT

The geochemical evolution and example of management of mangrove zones in Senegal (Casamance)

The mangroves of Senegal, which are the most northerly of the Atlantic type on the West African coast, are limited to the inlet of the Casamance — a river with very low discharge — and to the Sine-Saloum which is nothing more than a ria.

The climate of these regions is characterized by two sharply contrasting seasons and before the onset of the Sahelian drought, rainfall attained 1,500 mm in the Casamance and 900 mm in the Saloum. The distribution of plant communities differed in the two estuaries and was controlled essentially by the climate and the nature of the mangrove substrate — mud-clays in the Casamance and mud sands in the Saloum.

The mineralogical and geochemical analysis of sediments (derived from 30 deep bore-holes) brings out the thickness of the mangrove substrate, which overlies the continental terminal formation. Kaolinite and smectite account for over 90 % of the clay fraction. The former is derived from the continental terminal whereas the latter is of marine origin (the kaolinite/smectite ratio quantifies the relative importance of continental and marine sediments in the mangrove substrate and therefore provides a basis for retracing the paleogeographic evolution of the study area). The chemical composition of the mangrove sediments is remarkably stable and clays play an overwhelming role in the preservation of organic matter and pyrite.

Since 1968, the entire Senegal area has suffered from a diminution of the rainfall with a deficit of as much as 30 % in the Casamance estuary. This rainfall deterioration has been accompanied by a shortening of the wet season from 5 to 3 months. The consequences are : an important increase in the salinity levels of streams and water-tables ; a considerable modification of vegetation zones in the Casamance, especially manifest in the extension of bare flats locally known as "tannes" at the expense of mangroves and marked changes in the morphology and geochemistry of mangrove soils.

Mangrove zones in the Casamance are traditionally used for rice cultivation. The drought has however considerably reduced rice production in the last few years. Numerous and elaborate hydroagricultural management programmes have been set up in the past few years : construction of dams and drainage of protected lands in an attempt to accelerate soil desalinization. The result however has generally been a marked and very brutal acidification of the soils. We are hereby proposing other management programmes for future projects.

Compared to most mangrove areas in the humid tropics, mangroves in Senegal are indeed characterized by a very fragile equilibrium. The study of their evolution clearly brings out the generally rapid and dramatic geochemical transformations to which this particular ecosystem is subject.

Oceanol. Acta, 1982. Proceedings International Symposium on coastal lagoons, SCOR/IABO/UNESCO, Bordeaux, France, 8-14 September, 1981, 151-160.

INTRODUCTION

Les mangroves du Sénégal ont fait l'objet de nombreuses études détaillées depuis une quinzaine d'années. En effet, de 1965 à 1971, Vieillefon (1977) a étudié les sols de mangroves de Basse-Casamance, et plus particulièrement le comportement du soufre dans la genèse de ces sols. De 1971 à 1979, nous avons étudié les mangroves de l'estuaire du Saloum, suivi les effets de la sécheresse climatique sur l'évolution des mangroves de Casamance de Gambie et du Saloum et participé à une A.T.P. qui, depuis 1975, étudie la géologie et la géochimie des mangroves du Sénégal. Enfin, dans le cadre des projets d'aménagements rizicoles de la Basse-Casamance, nous avons collaboré à plusieurs études pédologiques et hydrologiques touchant aux mangroves de cette région.

LE MILIEU NATUREL

Nous rappellerons que les mangroves du Sénégal qui sont toutes dans des zones estuariennes représentent les mangroves les plus septentrionales de type atlantique sur la côte ouest-africaine (planche 1) dans une région où le climat est caractérisé par deux saisons très contrastées, une saison sèche longue de six mois et plus, et une saison des pluies, irrégulière et courte, de trois à cinq mois, d'où un bilan hydrique déficitaire marqué qui provoque l'apparition en arrière des palétuviers de zones nues, sursalées plus ou moins grandes, localement dénommées « tannes », et dont on ne trouve l'équivalent que très rarement dans les autres mangroves (Nouvelle-Calédonie, Tulear, Gabon). Nous montrerons, par comparaison avec d'autres mangroves tropicales, que plus que la hauteur des précipitations, c'est

leur répartition qui commande, entre autres facteurs, le développement plus ou moins important des palétuviers et des formations végétales qui leur sont associées.

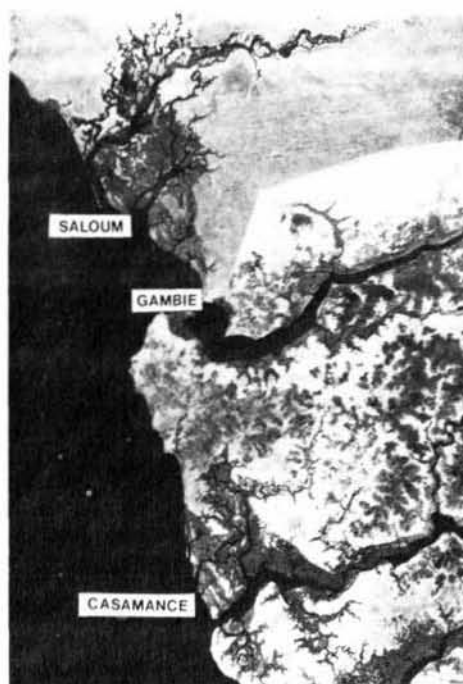


Planche 1

Saloum estuary. Vegetation zones (photograph by I.G.N., 1969)
M = Mangrove ; T.I. = Flooded "tannes" ; T.V. = Bare "tannes" ; T.H. = Herbaceous "tannes".

Au Sénégal même, avant qu'apparaisse la sécheresse des années 1970 qui continue à sévir dans toute la zone sahélienne, la répartition des formations végétales était différente dans les deux estuaires (Casamance et Saloum). Cette différence étant due au climat d'une part — pluviométrie plus élevée en Casamance qu'au Saloum —, et à la nature du substrat, d'autre part — vase argileuse en Casamance et vase sableuse au Saloum. L'extension des tannes était nettement plus importante au Saloum qu'en Casamance où les palétuviers et les marais à halophytes prédominaient largement sur les zones nues (tannes). Dans tous les cas, il s'établit une zonation végétale caractéristique liée entre autre à la topographie et à la fréquence des submersions soit par les marées, soit par les pluies et donc à la salinité.

LE SOUBASSEMENT GÉOLOGIQUE

Dans le cadre d'une A.T.P. dirigée par J. Lucas et grâce à l'utilisation d'un carottier à piston stationnaire, une trentaine de forages profonds ont pu être exécutés dans toutes les mangroves du Sénégal, dont une grande partie en Casamance (Marius, 1978).

La minéralogie et l'étude géochimique des sédiments prélevés ont été faites par Kalck (1978) à Strasbourg. Le substrat des formations de mangroves constitué de vase argileuse ou sableuse est peu épais et ne dépasse pas 20 m au-dessus du continental terminal. Dans les zones d'embouchures, en particulier en Casamance, l'épaisseur de la vase est très faible et le sous-bassement plus sableux. Les sédiments sont hétérogènes, généralement argileux en surface et sableux en profondeur, et plus rarement on observe une alternance de lits sableux et de lits argileux. On notera cependant qu'en Casamance, la sédimentation est exclusivement argileuse dans les vallées affluentes en amont de Ziguinchor. Quartz, halite, gypse, argile, pyrite et jarosite sont les principaux constituants minéraux du sédiment.

Étude de la fraction argileuse

L'étude de la fraction argileuse de la mangrove et des faciès voisins apporte de nombreux résultats intéressants pour la compréhension du milieu et de sa mise en place. Kaolinite et smectite représentent ensemble plus de 90 % de l'argile et appartiennent en très grande partie à la fraction inférieure à $0,5 \mu$. Leurs origines sont différentes : la kaolinite provient du « continental terminal », alors que la smectite est apportée par le milieu marin. Ainsi, le rapport kaolinite/smectite permet d'apprécier l'influence

relative des apports continentaux et marins et donc d'esquisser l'évolution paléogéographique des régions étudiées, notamment de la Casamance (fig. 1)

Dans toutes les régions étudiées, la kaolinite est de type fireclay et présente des caractéristiques morphologiques et granulométriques constantes. De même, les smectites ont une composition géochimique et une granulométrie équivalentes dans le milieu marin et dans la mangrove. Ce sont des beidellites ferrifères. La kaolinite et la smectite ne présentent pas de transformations importantes entre leur milieu d'origine et le milieu de mangrove. Seule la smectite montre la formation d'intergrades, mais ceci reste limité. Il semble que dans le milieu de mangrove proprement dit, la kaolinite et la smectite soient à l'équilibre avec le sédiment. Cependant la destruction d'argiles est probable dans les tannes (Vicillefon, 1977) mais elle n'a pas été encore convenablement vérifiée ; ce phénomène devrait faire l'objet d'une étude ultérieure.

Géochimie

Le tableau 1 donne la composition chimique moyenne du sédiment de mangrove calculée sur 101 échantillons.

Les mangroves apparaissent comme riches en B et peut-être en Sn,

— pauvres en Ca, principalement en K, et en l'ensemble des traces sauf (B et Sn) plus ou moins nettement ;

— banales pour les éléments moyens et mineurs (sauf Ca et K).

Dans le tableau 2 sont présentées les compositions chimiques moyennes des mangroves de trois régions : Casamance (7 sondages, 67 échantillons), Gambie (3 sondages, 23 échantillons), fleuve Sénégal (3 sondages, 15 échantillons). Dans le même tableau sont portées, pour comparaison, les compositions chimiques moyennes de sédiments marins peu ou pas influencés par la mangrove : Casamance marine (2 sondages, 20 échantillons), Sine-Saloum (1 sondage, 11 échantillons).

Un certain nombre d'observations se dégagent de l'étude de ce tableau.

Les variations régionales de la composition chimique dans la mangrove sont faibles et principalement influencées par l'abondance plus ou moins grande de quartz. Celle-ci entraîne une variation inverse des teneurs de la majorité des autres constituants. Les éléments ne répondant pas à cette règle sont les alcalins et quelques traces.

Na varie indépendamment de la minéralogie du sédiment. Ceci s'explique par sa situation dans la phase liquide.

K, contenu dans les smectites, varie dans le même sens que

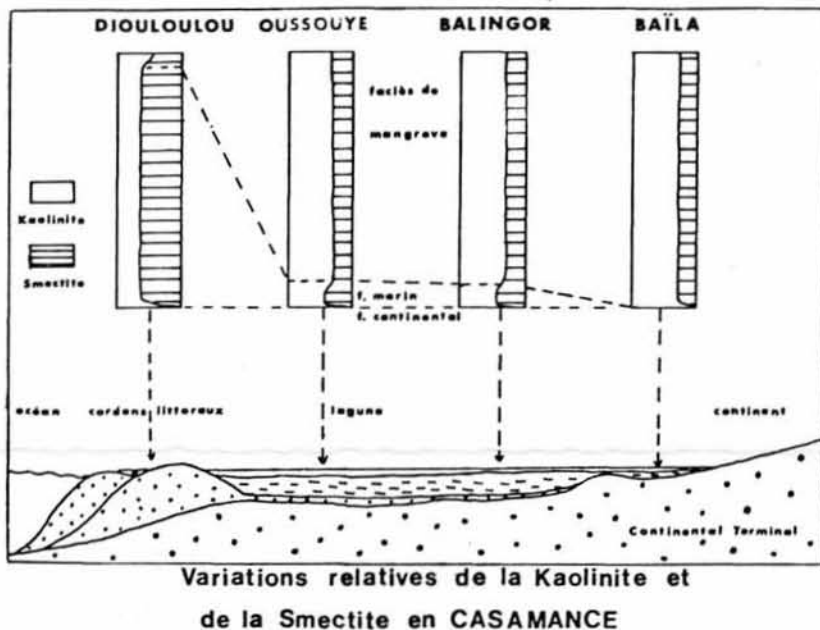


Figure 1

Carte de localisation des mangroves du Sénégal.
Map showing the location of the mangroves (Senegal).

Tableau 1
Composition chimique moyenne du sédiment de mangrove (Sénégal).
Mean chemical composition of the mangrove sediment (Senegal).

Élément	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Fe ₂ O ₄	Mn ₂ O ₄	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	Perte à 1000°C	C	Sr	Ba	V	Ni	Co	Cr	B	Zn	Ga	Cu	Pb	Sn
Moyenne	60,43	13,42	1,03	0,29	4,97	0,04	0,88	2,00	0,70	13,87	1,96	113	125	97	44	23	147	91	41	20	27	32	27
Écart-type	14,80	5,80	0,59	0,17	2,34	0,03	0,29	1,34	0,38	6,44	1,37	38	57	28	13	7	49	21	16	7	7	10	25

Tableau 2
Composition chimique des sédiments de mangroves de différentes régions étudiées. Comparaison avec les sédiments marins voisins.
Chemical composition of the mangrove sediments from different studied areas. Comparison with marine sediments.

		SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	Mn ₂ O ₄	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	C	PF	Sr	Ba	V	Ni	Co	Cr	B	Zn	Ga	Cu	Pb	Sn
Casamance	M	57,7	14,7	1,12	0,27	4,67	0,036	0,93	2,53	0,66	2,52	16,2	110	95	85	51	21	146	96	39	22	26	31	34
67 éch.	σ	15,1	5,9	0,55	0,22	1,76	0,019	0,31	1,58	0,30	1,44	6,7	34	32	20	10	5	48	22	14	7	7	8	28
Gambie	M	58,7	15,0	0,93	0,29	5,78	0,101	1,02	1,16	0,74	2,27	12,6	116	173	120	50	31	149	85	60	24	26	36	38
23 éch.	σ	15,7	5,6	0,57	0,19	2,84	0,079	0,22	0,68	0,38	1,45	3,7	41	41	24	13	6	38	15	17	5	4	8	43
Fleuve Sénégal	M	64,4	11,1	1,30	0,78	5,83	0,059	0,63	2,38	1,23	1,54	10,6	113	245	104	50	22	154	81	32	15	37	24	26
15 éch.	σ	17,0	5,4	0,69	0,66	2,99	0,036	0,22	1,57	0,45	1,61	7,2	51	79	28	14	8	59	17	10	5	10	9	26
Casamance marine	M	80,2	6,8	0,75	0,80	3,03	0,019	0,50	1,15	0,51	0,79	6,00	161	60	68	36	17	110	97	23	15	22	30	20
20 éch.	σ	10,6	4,4	0,55	0,83	1,52	0,013	0,28	0,84	0,26	0,39	3,08	104	19	20	12	2	57	21	8	6	5	6	9
Sine-Saloum	M	74,5	7,5	0,87	2,34	3,32	0,015	0,57	1,99	0,64	0,55	7,89	271	115	74	35	16	114	88	19	16	24	26	14
11 éch.	σ	12,4	4,1	0,77	3,87	1,46	0,015	0,20	1,73	0,36	0,57	4,54	348	47	20	11	4	43	23	9	5	8	15	9

le quartz. En effet les zones à quartz abondant correspondent à une influence marine plus marquée et sont donc plus riches en smectites que les zones les plus internes. Les éléments traces liés aux minéraux argileux sont généralement plus abondants dans les zones de mangroves qu'en milieu marin, avec cependant quelques exceptions : B, Cu, Pb et peut-être Sr et Bo.

En conclusion, l'étude géochimique de la mangrove aboutit à un certain nombre de résultats précis et d'hypothèses :
— La composition chimique des mangroves est remarquablement stable, les variations observées étant principalement dues à des influences plus ou moins grandes de l'océan.

— La géochimie ne présente pas de particularité si ce n'est un important déficit en Ca.

— L'argile apparaît comme prépondérante dans ce milieu où elle fixe partiellement la minéralogie du sédiment en contrôlant ses teneurs en matières organiques et en pyrite.

— Une association d'éléments traces est observée qui reflète l'apport de la vie animale dans la mangrove.

— La fraction argileuse dans son ensemble présente un cortège constant d'éléments traces qui traduit une homogénéisation importante du milieu.

LA SÉCHERESSE ET SES CONSÉQUENCES SUR LA MANGROVE

Les données climatiques

La pluviométrie moyenne annuelle était voisine de 1 500 mm, répartie sur 5 mois en Casamance et de 900 mm répartie sur 3 mois au Saloum. Depuis 1968 on assiste à une

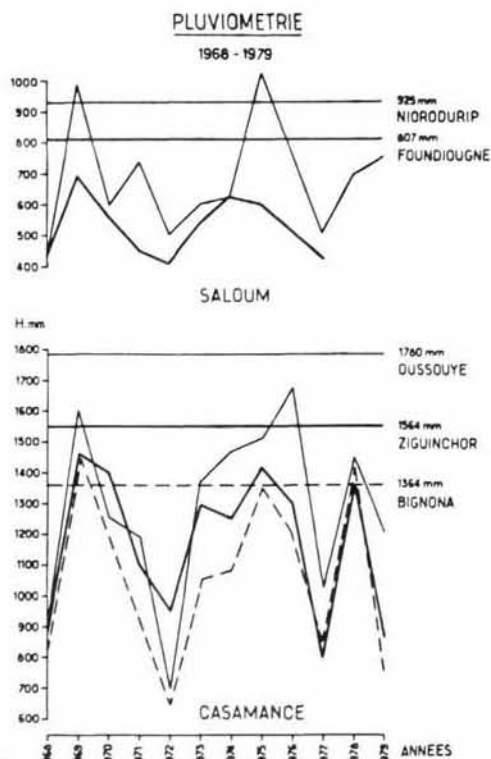


Figure 2
Variations annuelles de la pluviométrie (période 1968-1979) dans les deux régions étudiées (Saloum et Casamance).
Annual variations of the pluviometry (1968-1979 period) in the two investigated areas (Saloum and Casamance).

diminution de la pluviométrie dans tout le Sénégal, avec en particulier une contraction de la durée de la saison des pluies en Casamance. La figure 2 montre le déficit généralisé de la pluviométrie sur une période relativement longue, et l'on constate que c'est en Casamance que ce déficit est le plus marqué. Par ailleurs, les calculs de l'E.T.P. sur la période 1974-1978 montrent que celle-ci est très élevée et que la période déficitaire en eau est de 9 mois (octobre à juin). On remarquera que sur la côte orientale de l'Inde ou en Thaïlande, la pluviométrie annuelle est sensiblement identique à celle de la Casamance, 1 000 à 1 500 mm en Inde, 1 300 à 1 500 mm en Thaïlande, mais la répartition est totalement différente et liée au climat de mousson de ces régions, ce qui permet à la mangrove de s'y développer normalement.

Conséquences hydrologiques

Les mangroves de Casamance et du Saloum présentent l'originalité d'être localisées, les unes au débouché d'un fleuve à très faible débit (Casamance), les autres dans un véritable bras de mer (Saloum).

Dans les estuaires, la salinité des eaux de marées est influencée par les alternances saisonnières du climat, et cela d'autant plus que l'on remonte vers l'amont des biefs maritimes des fleuves et de leurs affluents.

En Casamance, une étude hydrochimique détaillée a été faite par Brunet-Moret de 1968 à 1970 (Brunet-Moret, 1970) et par nous, de janvier 1978 à juin 1979. La comparaison des deux séries de résultats fait apparaître nettement l'influence de la sécheresse de ces dernières années. Le fleuve et tous ses affluents ont des salinités voisines ou supérieures à celles de l'eau de mer dans la totalité de leurs cours, en fin de saison sèche. C'est alors un véritable bras de mer (fig. 3).

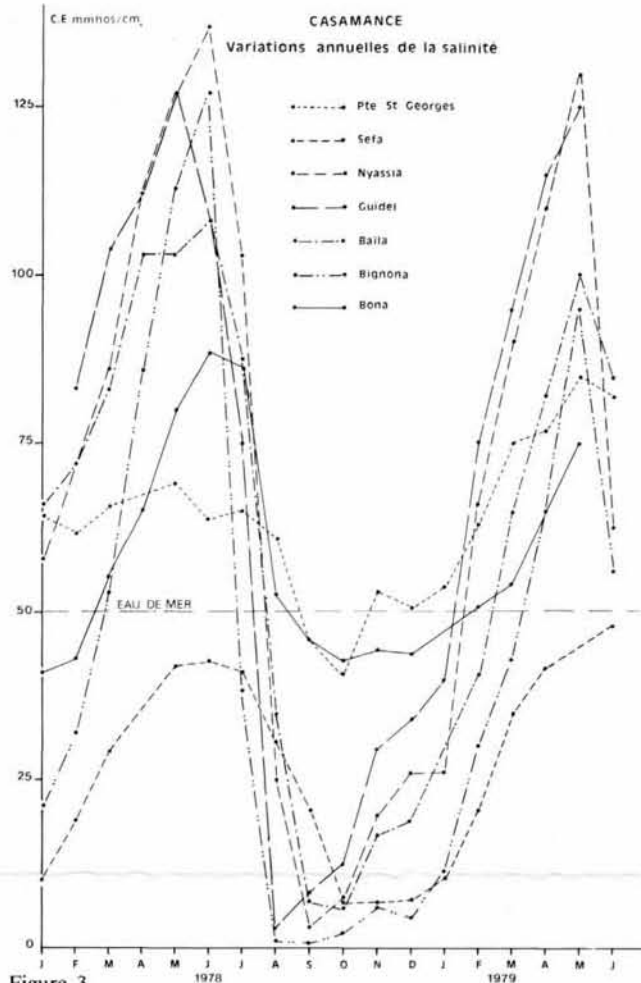


Figure 3
Variations annuelles de la salinité en Casamance.
Annual variations of the salinity in the Casamance area.

L'étude de l'évolution des sols et des eaux phréatiques des mangroves dans plusieurs séquences, en Casamance comme dans le Saloum, montre que les mangroves subissent l'influence de la marée, soit par submersion, soit par le transit au niveau de la nappe. Le sens d'écoulement de la nappe dans les séquences est en principe commandé par l'alternance climatique de la mangrove en saison des pluies, mais compte tenu de la succession des années sèches, on peut penser qu'à présent c'est la marée qui prédomine sur la pluie, et en Casamance notamment, la salinité des nappes phréatiques a pratiquement doublé.

Conséquences sur la végétation et sur les sols

La mangrove du Saloum a résisté à la sécheresse parce que, d'une part elle était en équilibre avec la mer, d'autre part, la sécheresse s'est traduite ici par une diminution de la hauteur d'eau, mais moins par sa répartition. La saison des pluies dure toujours trois mois.

Par ailleurs, le substrat sableux et filtrant permet un rapide lessivage des sels, en saison des pluies. La séquence végétale a peu varié et peut se résumer ainsi (planche 2) :

- peuplement de *Rhizophora* mangle, plus ou moins larges, en bordure des marigots, parfois remplacés par *Rhizophora racemosa*, le plus grand des palétuviers ;
- bande plus ou moins réduite de mélange *Rhizophora mangle* et *Avicennia africana* ;
- rideau d'*Avicennia africana* précédant une grande zone nue, le tanne vif, dans laquelle on distingue une zone quotidiennement visitée à marée haute : le tanne inondé, suivi d'une zone inondée exceptionnellement aux marées d'équinoxe : le tanne vif, au milieu duquel subsistent parfois quelques *Avicennia* rabougris sur un tapis herbacé de *Sesuvium portulacastrum* : le tanne herbacé. C'est cette dernière formation qui a été parfois atteinte par la sécheresse pour faire place à une zone algale, parfois poudreuse. En Casamance, par contre, au déficit pluviométrique s'est ajoutée une contraction de la durée de la saison des pluies, avec les conséquences que nous avons citées sur le régime hydrologique. De plus, le matériau argileux concentre les sels et nos études montrent qu'en fin de saison des pluies, seuls les 20 ou 30 cm superficiels sont légèrement dessalés. La salinité des cours d'eau en fin de saison sèche est telle

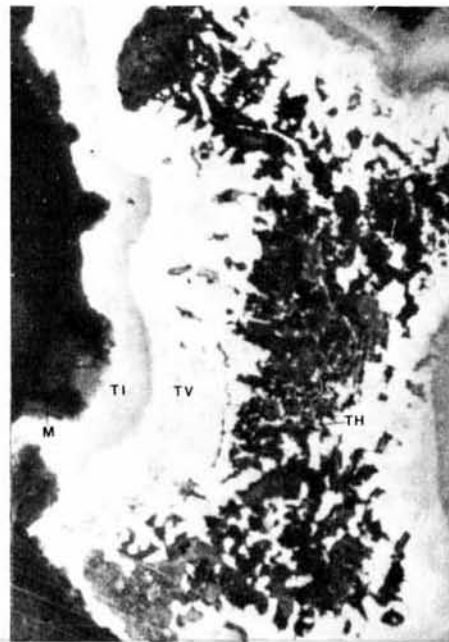


Planche 2
Chronoséquence du Saloum. M = mangrove à *Rhizophora* ; T.I. = tanne inondé ; T.V. = tanne vif ; T.H. = tanne herbacé.
Saloum chronosequency. M. = *Rhizophora mangle* ; T.I. = flooded "tanne" ; T.V. = bare "tanne" ; T.H. = herbaceous "tanne".

que les palétuviers n'ont pas résisté à cette hypersalure, et on ne les observe plus que sous forme d'une frange étroite en bordure des marigots ; suit une bande assez large avec des troncs de palétuviers morts, c'est la « mangrove décédée », à laquelle succède une bande aussi large d'un tanne inondé. Le tanne vif s'est lui aussi étendu aux dépens du tanne herbacé, qui est généralement recouvert d'une mince couche poudreuse formant une véritable « moquette », au-dessous de laquelle on trouve souvent un lit d'aiguilles de gypse, néoformé.

Les conséquences de la sécheresse sur l'évolution des sols et de la végétation ont été étudiées de manière détaillée sur la séquence de Balingore, en Casamance (Vieillefon, 1977). Végétation, sols et nappes de cette séquence ont été suivis de 1971 à 1978 (Marius, 1979 a). La planche 3 montre les vues aériennes de cette séquence en 1969 et 1978.

Des observations, on retiendra les faits suivants :

Végétation

a) La plupart des espèces végétales disparaissent après la sécheresse de 1977, à l'exception de *Sesuvium portulacastrum*, remarquablement adapté à de très fortes salures atteignant pour les sols 5 fois la salinité de l'eau de mer.

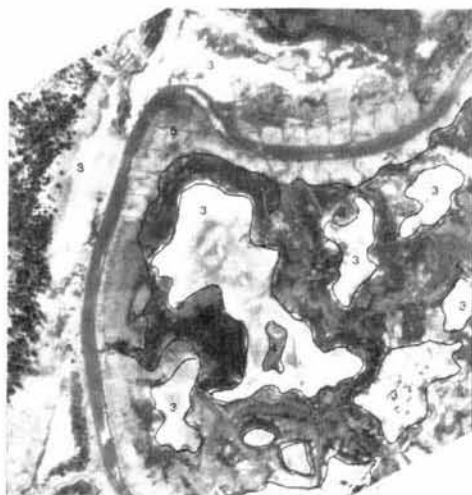
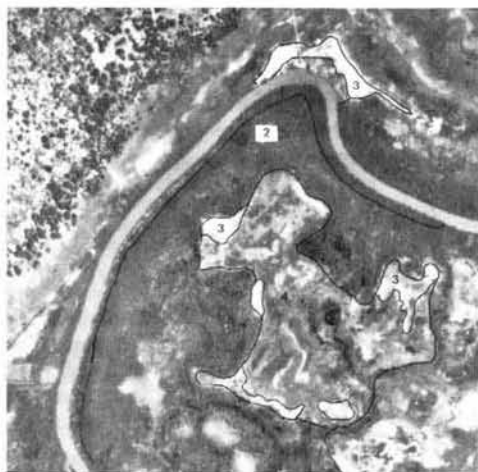


Planche 3

Séquence de Balingore. Effets de la sécheresse. Cliché du haut : I.G.N. 1969 (30 octobre 1969 : fin de saison des pluies). Cliché du bas : I.G.N. 1978 (5 décembre 1978 : fin de saison des pluies).

1 : *Rhizophora racemosa* ; 2 : *Rhizophora mangle* + *Avicennia* ; 3 : tanne vif ; 4 : mangrove décédée ; 6 : *Sesuvium* + *Heleocharis*.
Balingore sequency-dryness effects (end of rainfall season). Upper photograph by I.G.N., 1969 (30 October, 1969). Lower photograph by I.G.N., 1978 (5 December, 1978).

1 : *Rhizophora racemosa*, 2 : *Rhizophora mangle* + *Avicennia*, 3 : Bare " tanne " 4 : Herbaceous " tanne " , 5 : Decaying mangrove, 6 : *Sesuvium* + *Elcocharis*.

b) Les *Avicennia* et *Heleocharis* reprennent de façon importante après la saison des pluies de 1978, associés à des espèces de graminées nouvellement apparues : *Sporobolus helvolus* et *Bacopa crenata*.

c) Certaines graminées disparaissent définitivement semble-t-il : *Scirpus littoralis*, *Phloxeris vermicularis*, *Paspalum vaginatum*, espèces plutôt adaptées à des eaux saumâtres que sursalées, tandis que les *Rhizophora* sont remplacés, en grande partie, par l'association *Avicennia-Sesuvium* qui semble bien adaptée à une très large gamme de salure. En effet, nous avons pu observer en novembre 1978, tout en amont du marigot de Bigona, de nombreuses repousses de jeunes *Avicennia* associées à *Cyperus* sp., *Typha*..., considérés comme des espèces d'eaux douces à saumâtres.

Sols

Les principales transformations consécutives à la sécheresse sont les suivantes (Marius, 1979 b) :

a) du point de vue morphologique :

— l'apparition de taches brunes et surtout le développement d'une consistance « de beurre » dans l'horizon intermédiaire (40-80 cm) ;

— la présence de gypse, minéral caractéristique de régions plus arides, observable d'abord en lames minces dans les prélèvements de tous les profils de la séquence (mai 1974), ensuite, à l'œil nu, sous forme d'une croûte superficielle (mai 1978) sur le tanne vif ;

— la présence, dans certains profils (tanne vif), de fragments de racines silicifiées blancs et poudreux formés d'opale-cristobalite associée à de la silice amorphe.

b) du point de vue chimique :

— l'augmentation considérable de la salinité des nappes et des sols, atteignant respectivement 3 fois et 5 fois la salinité de l'eau de mer ;

— la baisse générale du pH dans la séquence et plus particulièrement dans le tanne vif et les horizons profonds des mangroves. On remarque d'ailleurs que l'acidité débute généralement par les horizons intermédiaires (à partir de 30-40 cm), du fait que les produits sulfurés — notamment la pyrite — contenus dans les gaines racinaires de *Rhizophora* s'oxydent en jarosite, en libérant de l'acide sulfurique, par suite de l'abaissement de la nappe phréatique. Les résultats des mesures sont consignés dans le tableau 3.

AMÉNAGEMENT DES MANGROVES DU SÉNÉGAL

Utilisation actuelle

Comme dans la plupart des mangroves tropicales, les deux activités principales sont la riziculture et la pêche, auxquelles s'ajoutent la récolte des coquillages et depuis ces dernières années, le tourisme. La répartition de ces activités est cependant très différente selon qu'il s'agisse de la Casamance ou du Saloum.

Estuaire du Saloum

Dans l'estuaire du Saloum, l'activité dominante est la pêche. Pendant toute la saison sèche, les populations des îles « les Niominkas » émigrent très loin pour pêcher, au-delà de la Gambie et même jusqu'en Casamance où ils sont souvent hébergés par les riziculteurs diolas.

Remarquables pêcheurs, ils sont de mieux en mieux équipés en pirogues, moteurs hors-bord et filets grâce aux coopératives qui se sont créées ces dernières années.

Dans la plupart des villages, les femmes ramassent les coquillages sur les bancs de sable à marée basse, pendant que les hommes sont à la pêche. Poissons et coquillages ramassés (huîtres, arches...) sont séchés, salés et consommés en partie localement, le reste étant destiné à l'exportation.

Le travail de la terre qui n'a lieu qu'en hivernage est surtout consacré à la riziculture, mais la sursalure des terres limite considérablement les potentialités agricoles, la pluviométrie étant largement insuffisante pour dessaler les sols.

Tableau 3

Variations interannuelles de la végétation, du pH *in situ* du sol à trois profondeurs et de la salinité de la nappe en mmhos/cm dans la séquence mangrove-tanne de Balingor.

Interannual variations of the vegetation, the soil pH in situ at three depths, and the groundwater salinity (mmhos/cm) in the mangrove tanne sequence of Balingore.

Végétation		<i>Rh. racemosa</i>	<i>Rh. mangle</i>	<i>Rh. mangle + Paspalum</i>	<i>Avicennia + Scirpus</i>	<i>Avicennia + Sesuvium + Philoxerus</i>	Tanne vif	Tanne herbacé à <i>Heleocharis</i>
MAI 1971	10 cm		6,6			6,9	6,7	5,6
	pH à 50 cm		7,1			5,8	5,8	5,4
	90 cm		6,9			5,6	4,9	5,2
	Salinité de la nappe en mmhos/cm		50			70	90-100	80
Végétation		Zone nue	Plages dispersées de <i>Sesuvium</i> , rares <i>Paspalum</i> et <i>Heleocharis</i>		Tapis homogène de <i>Sesuvium</i>		Tanne vif	
MAI 1974	10 cm		5,7			5,5	3,3	4,3
	pH à 50 cm		5,9			3,5	3	4,6
	90 cm		5,9			4,8	3,4	6
	Salinité de la nappe en mmhos/cm		94,25			115,5	130	130
Végétation		Zone nue	Tapis homogène de <i>Sesuvium</i> , rares <i>Heleocharis</i> , apparition de <i>Conocarpus</i>			Tanne vif		
MAI 1978	10 cm		5,3			4,1	3	5,3
	pH à 50 cm		5,3			3,6	3,2	3,4
	90 cm		6			4,1	3,3	4,4
	Salinité de la nappe en mmhos/cm		147,3			147,3	126,1	103,6
Végétation		Zone nue	Rares <i>Avicennia + Sesuvium</i>	<i>Avicennia + Sesuvium</i>	<i>Heleocharis + Sesuvium</i>	<i>Sporobolus + Bacopa</i>	Tanne vif	
NOVEMBRE 1978	10 cm		6,2			5,2	3,5	3,2
	pH à 50 cm		5,6			4,5	3,4	3,3
	90 cm		5,6			4,7	3,4	3,7
	Salinité de la nappe en mmhos/cm		20			35	115	90

Estuaire de la Casamance

L'activité dominante est ici, de loin, la riziculture. Médiocres pêcheurs, les Diolas sont d'excellents riziculteurs, certainement parmi les meilleurs du continent africain, compte tenu des difficultés considérables que présentent ces sols pour leur aménagement.

Les techniques culturales de la riziculture diola ont été remarquablement bien étudiées par Pelissier (1966). Voici, d'après cet auteur, le schéma d'aménagement des rizières de mangroves qu'on désigne par « rizières profondes ».

Ces rizières profondes sont établies sur des emplacements occupés à l'état naturel par la mangrove et non pas, ou très rarement, sur les tannes.

Le périmètre choisi pour être transformé en rizière est d'abord ceinturé par une digue puissante destinée à l'isoler du reste de la mangrove et à interdire ou au moins contrôler l'invasion du flot de marée. C'est en effet dans la zone soumise au jeu des marées, par conséquent découverte aux basses eaux, que sont toujours établies les rizières profondes. Cette digue atteint au moins un mètre d'élévation et a souvent la même largeur à sa base ; elle est nécessairement plus haute que le niveau des plus fortes marées et doit être assez robuste pour résister à leur pression. Son épaisseur dépend essentiellement de la situation de la rizière : si celle-ci est au contact direct d'un marigot parcouru par les courants, elle doit être protégée par une digue plus large et

plus puissante que si elle est établie à l'intérieur de la mangrove où la pression des marées est amortie par la végétation. En général, les paysans ont la prudence d'élever les digues périphériques à une vingtaine de centimètres au-dessus du niveau des plus hautes marées. De loin en loin les digues sont traversées par des drains mettant en communication rizière et marigot ; leur rôle est de permettre tantôt l'évacuation à marée basse de l'eau retenue dans la rizière, tantôt l'entrée, à marée montante, de l'eau du marigot à l'intérieur du périmètre endigué. Ces drains sont généralement établis au pied de la digue ; d'autres à mi-hauteur ; parfois — ce système se rencontre fréquemment dans les rizières de la Pointe-Saint-Georges — 3 drains voisins sont superposés ; le plus bas n'est alors utilisé que pour vider complètement la rizière, le second sert à régler la hauteur de l'eau pendant les pluies, le troisième n'est fermé qu'à l'époque où l'eau peut sans inconvénient s'accumuler dans la rizière. Ces drains sont généralement des troncs évidés de palmiers-roniers, noyés dans la terre au moment de la construction de la digue ; tout bois creux peut en faire office, par exemple la carcasse d'une vieille pirogue. Un bouchon de fibres de palmiers ou de feuilles de bananier colmaté d'argile, sert à obstruer le drain. Certains paysans sont assez ingénieux pour établir un système automatique de fermeture et d'ouverture du bouchon lorsque le drain fonctionne à sens unique. Le bouchon placé par exemple à l'orifice extérieur du tuyau de ronier est attaché de telle sorte qu'à marée descendante la pression de l'eau contenue dans la rizière le repousse et ouvre le drain tandis qu'à marée montante, au contraire, l'eau du marigot applique le bouchon sur le tuyau et rebouche automatiquement celui-ci. Le long de certains marigots où la marée est moins forte que dans l'estuaire proprement dit, ces drains n'existent pas mais sont remplacés par des coupures établies de loin en loin dans la digue, coupures qui sont obstruées par un fascinage colmaté de terre à l'époque des cultures ; on maintient cependant à ce moment au-dessus du niveau des marées hautes, au sommet des fascines, une échancrure en forme de déversoir destinée à assurer le passage des eaux en excédent.

Les mottes de vase empilées qui constituent les remparts extérieurs des rizières profondes, sont souvent empruntées à leurs pieds, de sorte qu'ils dominent alors un fossé de profondeur sensiblement égale à leur propre hauteur. Ce fossé situé tantôt à l'extérieur, tantôt à l'intérieur du périmètre endigué, sert de canal facilitant le drainage de la rizière.

Dans la plupart des cas observés, les digues périphériques prennent appui vers l'amont soit sur une autre digue de rizière profonde antérieurement établie soit sur les levées de terre ceinturant les plus basses rizières non salées qui arrivent souvent jusqu'au bord de la mangrove. Aussi n'y a-t-il fréquemment aucune solution de continuité entre rizières établies sur sols salés et sur sols non salés, et est-il difficile de préciser les limites exactes qu'atteignait la mangrove avant le défrichement ; il y a même automatiquement continuité entre les deux types de rizières, chaque fois qu'aucune étendue notable de tanne ne sépare les unes des autres, c'est-à-dire lorsque la vase vient au contact direct des langues de sable de l'estuaire, ou des alluvions cultivables des vallées.

Après la construction de la digue extérieure qui interdit la venue de l'eau à marée haute, on procède au défrichement du périmètre ainsi asséché. Le peuplement de palétuviers doit être complètement détruit ; les arbustes attaqués à quelques décimètres au-dessus du niveau du sol sont abattus au coupe-coupe, ou à la hache ; leur bois mis en fagots est soigneusement récupéré et transporté par les femmes au village, où il sert de bois de feu ou pour la construction des maisons. Il faut ensuite dessoucher soigneusement le défrichement, extirper de la vase gluante toutes les racines de la mangrove qui sont mises en tas, séchées et brûlées. Ces deux opérations, abattage des palétuviers et enlèvement de leurs racines, ne peuvent pas être effectuées pendant les

pluies et occupent fréquemment plusieurs saisons sèches consécutives.

Durant les hivernages intermédiaires on commence à dessaler le sol en fermant les drains au moment des pluies ; l'eau douce séjourne alors sous le défrichement et dissout les sels contenus dans les sols ; de temps à autre, à la faveur d'une marée basse accentuée, on ouvre les drains et l'eau chargée de sels est évacuée vers le marigot.

Lorsqu'elle est totalement nettoyée de toute végétation naturelle, deux ou trois ans après le début du défrichement, la future rizière subit un profond labour. La couche superficielle de vase est découpée par plaques et retournée au kayendo, mais le labour ne s'effectue pas à plat ; des banquettes d'une largeur qui peut atteindre 1 m, séparées entre elles par d'étroits et profonds fossés, sont édifiées dans la rizière ; par suite du creusement des fossés dont la terre est rejetée sur les banquettes, celles-ci sont un peu plus élevées que le niveau du défrichement avant le labour.

En général, au moment du premier labour et du pénible travail d'édification des banquettes, le sol, protégé contre l'invasion du flot de marée depuis la construction de la digue périphérique, est totalement desséché et sa surface forme une croûte compacte, véritable ciment argileux craquelé par des fentes de retrait, inattaquable au kayendo. On ouvre alors les drains, où l'on procède à une coupure dans la digue pour permettre l'invasion du défrichement par l'eau du marigot pendant quelques marées. Le sol humide est alors plus aisément labourable. Lorsque la rizière est entièrement aménagée, elle n'est pas immédiatement cultivable. Pendant plusieurs hivernages consécutifs il faut procéder au dessalement du sol, qui est alors systématiquement et littéralement lavé par les eaux de pluie. Le procédé employé consiste à interdire complètement l'accès du polder aux eaux marines ; les eaux de pluie et de ruissellement inondent alors la rizière, se chargent de sels et s'accumulent dans les fossés et les canaux de drainage. Lorsque le niveau de l'eau dans la rizière est jugé suffisant et menace par exemple de submerger les billons, les drains sont ouverts à marée basse et l'eau est évacuée ; pendant l'hivernage, les eaux de pluie sont ainsi périodiquement éliminées du défrichement après avoir filtré à travers les billons et s'être chargées des sels qu'ils contenaient. C'est naturellement la couche superficielle des billons, celle qui reçoit directement la pluie, qui est la première et la plus totalement dessalée tandis que les sels s'accumulent dans les couches profondes et sur les parois des fossés ; ces sels, entraînés en profondeur par l'eau filtrant du sommet des banquettes, restent un danger pour la rizière ; en saison sèche, ils peuvent envahir à nouveau l'horizon superficiel, sous l'effet de l'évaporation qui provoque la remontée par capillarité de solutions issues des couches profondes toujours humides. Aussi est-il fréquent que les rizières profondes, déjà cultivées depuis plusieurs années, soient à nouveau envahies en surface par les sels en saison sèche, et doivent subir un lavage systématique durant les premières semaines d'hivernage ; les premières pluies sont alors évacuées et les drains ne sont obstrués qu'un mois ou deux après le déclenchement des tornades, ce qui est rendu possible par deux facteurs : d'une part ces rizières profondes étant les plus humides et les plus facilement inondées, il n'est pas indispensable d'y emmagasiner les premières chutes d'eau ; d'autre part c'est dans ces rizières que le repiquage du riz est le plus tardif.

La conquête des sols de mangroves et leur aménagement en rizières se déroulent dans toute la Basse-Casamance selon le schéma qui vient d'être décrit. Cependant, il est possible d'enregistrer dans la plupart des villages des particularités qui tiennent soit à des habitudes propres issues de l'isolement, soit à des difficultés nées des conditions locales du milieu. Nous n'enregistrerons, parmi ces dernières, qu'un procédé de défense de défrichements en mangrove qui, par son extension, prend un caractère assez général pour être retenu hors des monographies locales. Dans tous les villages établis le long de la Casamance et des marigots les plus proches de l'estuaire, les rizières profondes doivent être

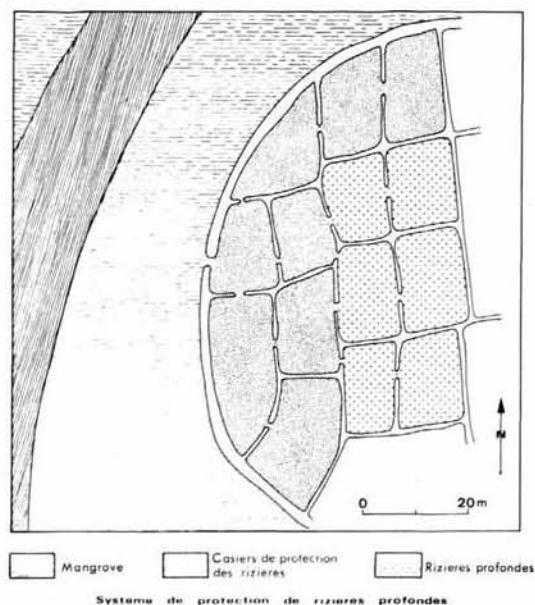


Figure 4
Système de protection de rizières profondes (d'après Pelissier, 1966).

Traditional rice polders in Casamance Estuary (after Pelissier, 1966).

protégées contre les courants de marée qui peuvent prendre une force considérable, en particulier au moment des grosses tornades d'hivernage. D'une part on ne défriche jamais jusqu'au bord de la rivière ou du marigot, afin de laisser un rideau de palétuviers sur le front des rizières pour couper le courant et amortir la pression du flot. D'autre part, dans les secteurs les plus exposés, la mangrove est compartimentée par les digues prolongeant vers l'aval celles qui ceinturent les rizières proprement dites ; en somme des périmètres où la végétation naturelle est tantôt respectée tantôt émondée, semblables à des rizières profondes inachevées, servent de cloison entre les parcelles cultivables et la mangrove vierge. Ces casiers sont munis de drains comme s'ils étaient cultivés, ce qui permet d'évacuer l'eau en excédant des rizières situées à l'amont et les rend accessoirement utilisables comme viviers à poissons (fig. 4). Dans l'estuaire où l'amplitude des marées et la force des courants sont maxima et où les tornades peuvent déclencher de sérieuses tempêtes aux vagues redoutables, toutes les rizières établies à la périphérie des îles sont protégées par un rideau de mangrove et de casiers incultivés et enserrés par de puissantes digues.

Les projets d'aménagements

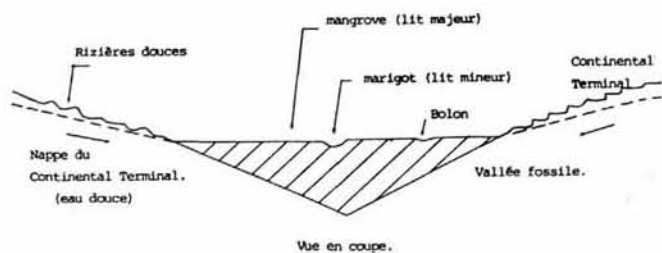
Comme nous pouvons le constater, le succès de la riziculture diola est essentiellement basé sur une bonne pluviométrie permettant le dessalement des sols des marigots ; mais la sécheresse de ces dernières années a rendu aléatoire et parfois réduit à néant la production des rizières de mangroves.

Aussi dès 1963, de nombreux projets d'aménagements ont-ils été élaborés pour accroître la production de riz par une double récolte basée sur un stockage de l'eau douce en amont de barrages anti-sel. Ces projets étaient malheureusement liés aux conditions climatiques de l'époque et surtout avaient tous mis l'accent sur la dessalinisation des sols par un drainage profond. Il en est résulté une acidification brutale et élevée de ces sols par oxydation des sulfures (pyrite) en sulfates de fer (jarosite) et acide sulfurique. Des milliers d'hectares ont ainsi été stérilisés. Après une dizaine d'années de nouveaux projets d'aménagements ont été proposés pour 5 vallées affluentes de la Casamance (Guidel, Kamobeul, Soungrougrou, Baïla et Bignona). Ils ont tous

pour objectif de maîtriser la salinité, grâce à la construction de digues et de barrages anti-sel, et de drainer les terres ainsi protégées de façon à accélérer le dessalement. Nous avons collaboré à l'étude pédologique de tous ces projets et plus particulièrement de ceux de Baïla et de Guidel. A Guidel, un barrage test est en cours de construction pour récupérer environ 1 150 ha de terres basses pour la riziculture (Aubrun, Marius, 1980 ; Marius, Cheval, 1980).

Principe des projets

Le principe de ces projets est de barrer le lit majeur du marigot (mangrove) au-dessus du niveau des plus hautes eaux par une digue et de construire un « barrage clapet » en béton, muni de portes battantes en bois sur le lit mineur pour permettre l'évacuation des eaux d'amont, donc le dessalement des terres d'amont tout en s'opposant à l'invasion du marigot par les eaux marines d'aval (fig. 5). En empêchant pendant tout l'hivernage le mélange des eaux de pluie avec les eaux salées de l'aval, le lavage doit permettre 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 doit bénéficier d'apports d'eau douce grâce au drainage de la nappe du Continental terminal après l'hivernage.



PROJET D'AMÉNAGEMENT D'UNE VALLÉE EN CASAMANCE Figure

Figure 5
Principe des projets d'aménagement pour l'amélioration de la riziculture.

Principle of the management projects for the improvement of rice cultivation.

Aménagement

L'aménagement des terres ainsi protégées consiste en un défrichage, le creusement d'un réseau de fossés de drainage assurant le dessalement des terres et l'établissement d'un réseau de pistes d'accès.

Critique du projet

Comme on peut le constater tout a été axé sur le dessalement des sols, et les premiers essais d'aménagement se sont traduits par des échecs dus en grande partie à l'acidification des sols. Sur la chaussée de Tobor une parcelle aménagée en 1971 sur une mangrove à *Rhizophora mangle* et *Avicennia*, a vu son pH s'abaisser à 2,5. En effet, de nombreuses expériences ont montré qu'un drainage profond des sols potentiellement sulfatés acides, provoquait une oxydation brutale des sulfures avec libération d'acide sulfurique et des sels toxiques d'aluminium suivie d'une chute aussi brutale du pH. Cela a été notamment le cas des sols « alunés » du delta du Mékong au Sud Viet-Nam.

Beye (1972) a étudié les problèmes posés par l'acidification des parcelles aménagées dans un polder expérimental, ainsi que les conséquences du dessalement.

Par ailleurs, on notera que ce projet a été établi à partir d'études basées sur une pluviométrie qui était normale et qui depuis, est nettement déficitaire.

Or, trois facteurs principaux doivent être pris en considération dans l'établissement d'un projet d'aménagement des sols de mangrove, en dehors des facteurs économiques (Vieillefont, 1977).

Ce sont :

- l'alimentation en eau pour lutter contre la salure ;
- la lutte contre l'acidification ;
- les défrichements nécessaires dans certains cas.

L'alimentation en eau, de plus en plus aléatoire, semble être meilleure dans les zones amont, là où précisément les tannes sont dominants. Une circulation contrôlée de l'eau devrait permettre le dessalement des tannes qui eux, ne présentent plus de problèmes d'acidification.

Pour les mangroves, il faut malgré tout compter uniquement sur les pluies et leur aménagement devra, dans toute la mesure du possible, éviter le drainage profond pour empêcher une oxydation brutale des sulfures et dans cette optique, il faudra autant que possible s'inspirer des méthodes traditionnelles.

Schématiquement on pourrait envisager : d'endiguer ces sols, d'attendre qu'ils s'assèchent, se tassent et se dessalent avec quelques années de pluies ; ensuite seulement, on pourrait envisager un drainage très superficiel n'atteignant pas les horizons à racines de *Rhizophora*.

Dans tous les cas, on ne perdra pas de vue que ces aménagements ne peuvent viser qu'à assurer une culture de riz et qu'une récupération définitive des sols de mangroves en vue d'une double culture, par exemple, est à exclure, car

leur inondation en saison sèche par l'eau salée est nécessaire pour maintenir les conditions d'anaérobiose et empêcher ainsi leur oxydation, donc leur acidification grâce aux éléments neutralisants fournis par la mer.

Compte tenu de toutes ces réserves on peut s'interroger sur l'utilité réelle des grands barrages en Casamance, car en définitive, les effets négatifs risquent de l'emporter largement sur les bénéfices espérés, notamment du point de vue de l'environnement écologique qui risque d'une part de voir disparaître une grande partie de la faune (crevettes, huîtres, poissons, coquillages) nécessaire à l'alimentation des populations locales, mais aussi à l'exportation, d'autre part de voir apparaître, par suite de la pollution des eaux douces en arrière des barrages, de nombreuses maladies actuellement inexistantes dans la région (dysenterie, typhoïde, bilharziose ...).

En conclusion, il apparaît que dans le contexte de la région, ce sont les sols des tannes et principalement ceux de tannes herbacés, qui se prêtent le mieux à un aménagement rizicole, à condition bien entendu, de trouver des quantités suffisantes d'eau douce pour les dessaler et certains des petits aménagements que nous avons pu observer dans les vallées affluentes de la rive gauche entre Ziguinchor et Kolda, semblent parfaitement bien conçus pour ces sols.

RÉFÉRENCES

- Aubrun A., Marius C., 1980. *Étude pédologique de la Vallée de Baïla. Organisation et environnement*, 6 cartes au 1/20 000e.
- Beye G., 1972. Acidification of mangrove soils after empoldering in Lower Casamance, *Proceedings 1st International Symposium « Acid Sulphate Soils »*, Wageningen, 1972.
- Brunet-Moret, 1970. *Études hydrologiques en Casamance*, Rapp. ORSTOM, service hydrologique.
- Kalek Y., 1978. Évolution des zones à mangroves du Sénégal au Quaternaire récent. Études géologiques et géochimiques, *Thèse 3^e cycle*, Inst. Géologie, Strasbourg, 121 p.
- Marius C., 1978. *Étude pédologique des carottages profonds dans les mangroves, 1977-1978*, ORSTOM Dakar.
- Marius C., 1979 a. *Les mangroves du Sénégal. Écologie, pédologie, utilisation*, ORSTOM Dakar.

- Marius C., 1979 b. Effets de la sécheresse sur l'évolution phytogéographique et pédologique de la mangrove en Basse-Casamance, *Bull. IFAN, Sér. A*, 41, 669-691.
- Marius C., 1981. Acid sulphate soils of mangrove area in Senegal and Gambia, *Proceedings Bangkok Symposium on acid sulphate soils*, Publ. ILRI 31, Wageningen, 103-136.
- Marius C., Cheval M., 1980. *Note sur les sols de la vallée de Guidel*, ORSTOM Dakar.
- Pelissier P., 1966. *Les paysans du Sénégal*, Imprimerie Fabrègne, St./Rieux.
- Vieillefon J., 1977. Les sols des mangroves et tannes de Basse-Casamance, *Mém. ORSTOM n° 833*, 291 p.