
PÉDOGENÈSE ET POTENTIALITÉS
FORESTIÈRES DES SOLS SULFATÉS
ACIDES SALÉS DES TANNES
DU SINE SALOUM,
SÉNÉGAL.

S. Sadio

ORSTOM
Editions

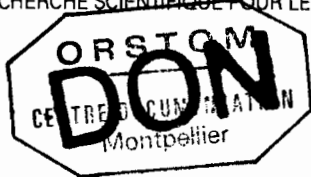
**PÉDOGENÈSE ET POTENTIALITÉS FORESTIÈRES
DES SOLS SULFATÉS ACIDES SALÉS
DES TANNES DU SINE SALOUM,
SÉNÉGAL.**

S. Sadio

Editions de l'ORSTOM

INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

SCSCLIP
SAL



22 JUL 1991

~~XXXXXXXXXX~~

Promotors : prof. dr. ir. L. J. Pons
oud-hoogleraar in de regionale bodemkunde
prof. dr. L. van der Plas
hoogleraar in de mineralogie

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les «copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective» et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, «toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ayants cause, est illicite» (alinéa 1^{er} de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

S. Sadio

PEDOGENESE ET POTENTIALITES FORESTIERES
DES SOLS SULFATES ACIDES SALES DES TANNES
DU SINE SALOUM, SENEGAL

Proefschrift
ter verkrijging van de graad van
doctor in de landbouwwetenschappen,
op gezag van de rector magnificus,
dr.H.C. van der Plas,
in het openbaar te verdedigen
op vrijdag 15 september 1989
des namiddags te vier uur in de Bestuurskamer
van de Landbouwuniversiteit te Wageningen



A mes parents
A Fatiha
Amine M.
Karim

STATEMENTS

1. Up to now the role of the climate has not been recognized as an important factor in acid sulphate soil formation in mangroves areas. The formation has mainly been attributed to drainage by man's practices on lands.
2. Under severe drought conditions, acid sulphate soils occurrence is an extremely rapid phenomenon depending mainly on geochemical processes.
3. Although characterized by seasonal and spatial variation, salts more soluble than gypsum have to be regarded as an important factor of soil genesis in arid tropics coastal areas, and therefore have to be considered as soil classification criteria.
4. The use of S.A.R and E.S.P., as proposed by U.S. Salinity Laboratory (USDA 1954: Handbook n^o.60), by many authors in the investigation of salinity problems, is of less importance for saline sandy soils with sodium chloride salts.
5. Averaging pH and EC values, and use these data for evaluating acid sulphate and saline land suitability for certain types of land use, has a restricted meaning, because of the eventual presence of "Horizon constraints".
6. Agronomist knowledge of salinity and acidity tolerance of plants are not sufficient for successful land reclamation of acid sulphate or saline soils. Good knowledge of land characteristics and understanding of the seasonal and spatial variation of soil acidity and salinity are needed.

Chapman, V.J., 1966 - Vegetation and salinity, in Boyko (Ed.): Salinity and aridity - New approaches to old problems; Dr. W. Junk Publishers, The Hague).

7. Although the statement of Le Ngoc Sen (1988) "The only practical way to manage acid sulphate soils is by proper drainage and water management" is a sine qua non for Sine Saloum saline acid sulphate soils reclamation on large scale, it should be realised that maintaining a high water table in order to control pyrite oxidation is not advisable in case of supersaline conditions.

Le Ngoc Sen, 1988 - Influence of various water management and agronomic packages on the chemical changes and the growth of rice in acid sulphate soils. Ph.D thesis, Wageningen Agricultural University (The Netherlands).

8. Reafforestation is a good way to avoid salt accumulation on the topsoil and to decrease the soil salinity level and acidity.
9. The introduction of new management practices should always be based on the experience gained in local trials in cooperation with the farmers who work the lands.

10. Politicians, investors and international development agencies should be aware of the potential role of specialists in soil survey and land evaluation and the ongoing role of these specialists in the management of the land.

11. No land is useless, the problem is to know how to improve it.

12. The duty of Third World scientists is to act in such a way that the syndrome of under-development will only be an old souvenir in the mind of the children of future generations in the 21st century.

Ph.D Thesis - Syaka Sadio, 1989: Pédogenèse et potentialités forestières des sols sulfatés acides salés des Tannes du Sine Saloum, Sénégal.

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to seize this opportunity to cordially thank the people, near and far away, who have assisted me in carrying out my research and in the writing of this thesis.

Thanks are due to:

My promotor, prof.dr.ir. L.J. Pons for showing interest in my research work when we first met in 1985 at Dakar and when we discussed the possibility of him being my advisor and promotor. Ever since that time, he showed his great enthusiastic support for the issues dealt with in this research, in spite of the fact that he has already retired.

My second promotor, prof.dr. L. van der Plas, who was kind enough to accept being involved in this research in spite of his busy occupation. His advice put me on a rewarding track for a better understanding of the links between mineralogy and soil forming processes.

M. Touré, ex. General Director and N. MBaye, deputy General Director of the "Institut Senegalais de Recherches Agricoles" for the attention and the help they gave to my research work.

B. Dalmayrac, Director of ORSTOM/Dakar and B. de Tricornot (ORSTOM/Paris). Without their help, this work would not have been possible. Thanks to their efforts, I was sponsored by the General Directorate of ORSTOM/Paris, which I gratefully acknowledge.

P.N. Sall, head of DRPF/ISRA (Senegal) for his help and the interest he showed in the work on re-afforestation of saline and acid soils.

Prof.dr.ir. N. van Breemen for the fruitful and stimulating discussions and for reviewing the text.

Dr. C. Marius, researcher of the "Université Louis Pasteur de Strasbourg", for his guidance during the writing of this thesis.

J.Y. Loyer, researcher of ORSTOM-Montpellier, who was the first to interest me in studies on saline soils. Ever since 1982 I remembered his enthusiastic collaboration during field work when I first got in touch with these soils.

Ir. M.E.F. van Mensvoort and drs. E.L. Meijer for their kind assistance and advice during the writing of this thesis. Without their help there would have been large gaps in my thesis.

Prof.dr.ir. R.A.A. Oldeman of the Forestry Department for correcting the chapters on re-afforestation in the manuscript.

Mr. F.A.H.M. Schelbergen, "beheerder" of the Wageningen Soil Science department for the facilities supplied to me.

Mrs. Marjan Noordhoek, Mrs. Thea van Hummel and Mrs. Andrea Broesder of the Soil Science Department. Without their assistance my stay would have been impossible. They were always ready to lend a hand when I needed help.

Mrs. J. van Doesburg for carrying out and interpreting the mineral analysis.

Mr. P.G.M. Versteeg for drawing the graphs and figures in spite of his busy work.

Furthermore I would like to thank all staff members of the Soil Science and Geology Department of Wageningen University for the help given to me in completing this thesis.

Thanks to Mrs. S.B. Poppenburg and to Mrs. E. Olofsen for accepting the document which was typed at the department of Text processing.

Many thanks to Mrs. D. Neijenhuis who, because of the many changes in the manuscript, has typed it so many times, without losing her patience.

Thanks to Mrs. Josie Zeevat-van Homelen for assisting Mrs. Neijenhuis and helping in the last draft.

Also I would like to thank all the members of the department of Text Processing for their help and kindness.

C.T.A. (Ede-Wageningen) for helping with the purchase of books I needed.

The Financial Department of the Agricultural University of Wageningen for founding the printing of this thesis.

A B. Kaloga, chercheur à l'ORSTOM (Bondy, France) pour les nombreuses sollicitations devant lesquelles il n'a jamais reculé. Il a joué la croix de transmission entre ORSTOM et Wageningen.

M. Ndiaye et N. Diouf qui m'ont assisté lors des travaux de terrain et s'occupent du suivi des plantations.

Mon épouse Fatiha Sadio et mes enfants Amine Manuel Sadio et Karim Sadio, et naturellement à mes parents, pour leur patience et attachement.

Mr. et Mme T. Niang, pour le soutien moral et l'assistance portés à mon égard.

And last but not least, to Gerry and Joop with whom I enjoyably shared the house during my stay in Wageningen.

RESUME

Les sols du domaine des tannes du Sine Saloum se caractérisent par une grande hétérogénéité due à leur morphologie et leurs propriétés physico-chimiques. Leurs caractéristiques sont étroitement liées à la topographie, au type de matériau et à l'hydrologie.

Leur évolution pédogénétique actuelle est une conséquence de la sévère sécheresse qui a régné sur l'ensemble du Sénégal, et particulièrement dans les domaines fluvio-marins, depuis les années 1971. Elle a entraîné des conséquences dramatiques sociales et sur l'environnement écologique.

Les déficits pluviométriques engendrés par l'aridité du climat ont déclenché et amplifié la sursalure et l'acidification des sols sur l'ensemble du domaine.

La sursalure, peu répandue avant les années 1971, a vite atteint tous les sols, depuis les terrasses basses jusqu'au glacis de raccordement.

Elle se produit par trois processus essentiels:

- a) la migration verticale des sels par remontée capillaire de la solution du sol ou de la nappe phréatique peu profonde, sous l'action des phénomènes d'évaporation intense due aux températures très élevées (25-40°C) et qui maintiennent pendant 8 à 9 mois un profil salin ascendant;
- b) les inondations par les eaux sursalées des cours d'eau, 2 à 3 fois plus salées que l'eau de mer (46 mS/cm);
- c) l'accumulation des limons salés transportés par les vents, au niveau des zones couvertes de végétation.

A cause de ces processus les sols restent sursalés pendant presque toute l'année. Néanmoins, on observe pendant l'hivernage, un dessalement des sols sableux des glacis de raccordement et des levées sableuses, et des sols limoneux des terrasses hautes à topographie plane grâce aux eaux de pluies.

L'acidification de ces sols peu connue avant les années 1971, s'est très vite développée et propagée sur l'ensemble du bassin. Elle résulte de l'oxydation de la pyrite contenue dans les sédiments, provoquée par le drainage très marqué et le dessèchement prolongé des sols sous les effets conjugués de l'abaissement des nappes phréatiques et de l'évaporation. Elle s'est révélée le processus le plus important qui oriente la pédo-

genèse. Son importance dépend de la richesse en pyrite des sédiments, des conditions du milieu réactionnel (richesse en bases, sels) et de la situation topographique. Ainsi, dans les sols sulfatés acides à jarosite jeune des terrasses basses plus ou moins inondables, l'oxydation est incomplète et bloquée au stade de jarosite de couleur jaune pâle (2,5Y 8/4), alors que dans les terrasses moyennes et les glacis de raccordement, le bon drainage conduit à une oxydation complète de la pyrite en jarosite qui est à son tour est hydrolysée en goethite (taches jaunâtres et ocre-rougeâtres) puis en hématite. Cette évolution progressive que l'on peut qualifier de maturation chimique, paraît un phénomène extrêmement rapide. Cependant dans les sols associées aux coquilles d'huîtres dont la dissolution entraîne la libération de calcium, l'oxydation de la pyrite ne conduit pas à l'acidification, l'acidité produite étant neutralisée par les carbonates.

Cette maturation chimique s'accompagne d'une maturation physique dont l'importance dépend de la position topographique, diminuant progressivement des sols des glacis de raccordement à ceux des terrasses basses inondées.

La sursalure et l'acidification ont entraîné une forte dégradation chimique des sols et annihilé les possibilités de mise en valeur à cause de la toxicité due à l'accumulation excessive des sels et des produits acides. Les recherches de reboisement montrent que, dans les conditions actuelles d'aridité et du niveau de connaissances scientifiques du fonctionnement de ces sols, les seules voies possibles d'utilisation de ces terres demeurent pour le moment, la mise en valeur forestière et pastorale par l'introduction d'espèces acido-halo-tolérantes.

La mise en valeur rentable sur de grande superficie ne peut être envisagée qu'à moyen et long termes, après des aménagements hydro-agricoles au niveau du bassin en visant principalement le dessalement et la désacidification des sols.

Mots clés: Pédogenèse, Sols salés, Sols sulfatés acides salés, Salinité, Acidité, Forestière, Reboisement, Sine Saloum, Sénégal, Sécheresse.

SUMMARY

Soils of the "Tannes"¹ region of the Sine Saloum bassin, Senegal, are characterized by great heterogeneity in morphology and physical and chemical properties. Their characteristics are linked to topographic position, material and hydrology.

Their recent pedogenetical evolution is a consequence of the severe drought period which occurred all over Senegal since 1971. The drought has had dramatic social consequences but also consequences for the ecosystem.

The rainfall deficit started and amplified supersalinization and acidification of the soils throughout the region.

The supersalinity, not widespread before 1971, has rapidly reached all soils, from the low terraces up to "glacis"² de raccordement".

Three main processes enhanced the supersalinization:

- a. Vertical migration of salts by capillary rise from soil solution and shallow groundwaters, caused by intensive evaporation due to high temperatures (25 - 40°C), which leads to an upward salt flux from 8 to 9 months of the year.
- b. Inundations by supersaline water from the creeks and rivers, having salt concentration 2 to 3 times that of seawater (46 mS/cm).
- c. Aeolian accumulations: Saline silt blown from bare areas is deposited in places covered with a vegetation.

Because of these processes, soils remain supersaline throughout the year. Nevertheless one can observe a decreasing of the salinity during the rainy season in sandy soils of the "glacis de raccordement" and of sandy levees, and also in loam soils of the upper terrace with a smooth topography, because of saturation by rain water.

Soil acidification, unknown before 1971, has rapidly spread throughout the entire Sine Saloum basin.

¹ tannes = salt affected lands

² glacis de raccordement = geomorphological unit with topographic inclined, between uplands and lowlands.

It is due to oxidation of pyritic sediments, provoked by the long drought period, which resulted in drainage, lowering the groundwater tables and evaporation.

Pyrite oxidation seems to be the most important pedogenetic process. Its importance depends on the pyrite content of the sediment, local chemical conditions (exchangeable cations, salts) and topographic position.

The importance of the topographic position can be illustrated as follows. Acid sulfate soils of the low terraces, which are subject to inundation, have recently formed jarosite of a pale yellow (2.5Y 8/4) colour, while soils in the mid-terraces and in the "glacis de raccordement", which are better drained, show a complete oxidation of pyrite to jarosite, followed by hydrolysis of jarosite to goethite (yellowish colours) and subsequently to haematite (10R 5/8). This evolution, which can be regarded as "chemical ripening", seems to be an extremely rapid phenomenon.

In soils having oyster shells in their sediments pyrite oxidation doesn't lead to acidification, because of neutralization of the acidity by carbonates.

The chemical ripening processes occur simultaneously with physical ripening, the importance of which depends on the topographic position, decreasing progressively from soils of "glacis de raccordement" to soils of the low inundated terraces.

Supersalinity and acidifications have caused severe chemical soil degradation and have annihilated all possibilities of land reclamation.

Research pointed out, that in view of the actual arid conditions and lack of scientific knowledge on soil development, the only possible form of land use remaining, is forestry and pasture by introduction of salt and acid tolerant species.

In the large area of the Sine Saloum basin, land reclamation for other types of land use is only possible on long term periods, after having taken the necessary land and water management measures, focussing on desalinization and de-acidification of the soils.

Key words: Pedogenesis, Saline soils, Saline acid sulfate soils, Salinity, Acidity, Forestry, Reafforestation, Sine Saloum, Senegal, Drought.

SOMMAIRE

page

INTRODUCTION GENERALE	1
1 APERCU GENERAL SUR LES SOLS SALES ET SULFATES ACIDES SALES DU SENEGAL	5
1.1 Introduction	5
1.2 Localisation et superficie occupée par les sols salés et sulfatés acides salés	5
1.3 Végétation caractéristique	7
1.3.1 Fleuve Sénégal	7
1.3.2 Grande côte (Niayes)	7
1.3.3 Petite côte	7
1.3.4 Bassin du Sine Saloum	8
1.3.5 Bassins des fleuves Gambie et Casamance	9
1.4 Conséquences de la sursalure et de l'acidification	9
1.4.1 Dégradation de l'environnement	9
1.4.2 Conséquences socio-économiques	10
1.5 Conclusion	11
2 MILIEU PHYSIQUE FLUVIO-MARIN DU BASSIN DU FLEUVE SALOUM	15
2.1 Introduction	15
2.2 Situation géographique	15
2.3 Climat	17
2.4 Géologie	20
2.5 Unités géomorphologiques	20
2.5.1 Façonnement du modelé	20
2.5.2 Domaine estuarien	22
2.5.3 Domaine des tannes	23
2.5.4 Succession des unités dans le paysage	26
2.5.5 Hydrologie	28
3 MILIEU HUMAIN DU DOMAINE DES TANNES DU SINE SALOUM	29
3.1 Introduction	29
3.2 Organisation administrative	29

3.3	Population	29
3.4	Activités économiques	30
3.4.1	Agriculture	31
3.4.2	Reboisement	31
3.4.3	Elevage	31
3.4.4	Pêche	32
3.4.5	Exploitation et commercialisation du sel	32
4	CARACTERISTIQUES ET DISTRIBUTION DES SOLS DES TANNES	33
4.1	Introduction	33
4.2	Méthodes d'études	33
4.2.1	Description des sols	33
4.2.2	Analyses physico-chimiques	35
4.2.3	Salinité	35
4.2.4	Analyse chimique totale et minéralogie	36
4.3	Caractéristiques des types de sols	37
4.3.1	Les sols salés sulfatés	37
4.3.2	Les sols sulfatés acides salés	43
4.3.3	Les sols sulfatés acides hydromorphes salés	56
4.4	Distribution séquentielle des sols	59
4.4.1	Types de sols des différentes unités géomorphologiques de la séquence S2	59
4.4.2	Caractéristiques physiques des sols de la séquence S2	61
4.4.3	Caractéristiques chimiques des sols de la séquence S2	63
4.5	Conclusion	63
5	GENESE DES SOLS SULFATES ACIDES SALES DES TANNES	67
5.1	Introduction	67
5.2	Facteurs de pédogenèse	67
5.2.1	Le climat	67
5.2.2	Hydrologie	68
5.2.3	Topographie	69
5.2.4	Sels solubles	69
5.2.5	Le Soufre	70
5.2.6	Les matériaux parentaux	70
5.3	Mise en place des matériaux	70

5.3.1	Types de matériaux	71
5.3.2	Dynamique de sédimentation	71
5.4	Les sels et la salinisation des sols	77
5.4.1	Origine et types des sels	77
5.4.2	Type de salinité	79
5.4.3	Variation spatiale de la salinité	82
5.4.4	Dynamique d'évolution saisonnière de la salinité	86
5.4.5	Processus de salinisation actuelle des sols	89
5.4.6	Cristallisation des sels minéraux	92
5.5	Les soufre et l'acidification des sols	95
5.5.1	Origine du soufre	95
5.5.2	Formation de la pyrite	96
5.5.3	Oxydation de la pyrite et l'acidification des sols	97
5.5.4	Acidité du sol et des solutions	105
5.6	Maturation physique	108
5.7	Conclusion	111
6	CLASSIFICATION DES SOLS SULFATES ACIDES SALES DES TANNES DU SINE SALOUM	113
6.1	Les différents systèmes de classification	113
6.1.1	Soil Taxonomy (U.S. Soil Survey)	113
6.1.2	Légende F.A.O.	114
6.1.3	Classification Française (Segalen et al., 1979)	115
6.1.4	Référentiel pédologique français	116
6.1.5	Classification des sols du Viet Nam (PONS et al., 1986)	117
6.1.6	Remarques	118
6.3	Classification des sols sulfatés acides salés des tannes du Sine Saloum	119
6.3.1	Principes de classification	119
6.3.2	Clés de définition des classes	121
6.3.3	Les différentes sous-classes	123
6.3.4	Les Groupes	124
6.3.5	Les Sous-groupes	126

7	ADAPTATION DE LA VEGETATION NATURELLE A LA SALINITE ET A L'ACIDITE	129
7.1	Introduction	129
7.2	Méthode d'études	129
7.3	Résultats et discussions	130
7.3.1	Comportement des différentes espèces	130
7.3.2	Mécanismes d'adaptation des espèces	132
7.4	Conclusion	132
8	ETUDE DES CONTRAINTES DE MISE EN VALEUR FORESTIERE DES SOLS SALES ET SULFATES ACIDES SALES	137
8.1	Introduction	137
8.2	Diagnostic des contraintes sur le terrain	138
8.2.1	Sites d'étude	138
8.2.2	Etude des sols	139
8.2.3	Etude de la végétation	139
8.3	Mise en évidence des facteurs de mortalité	140
8.3.1	Méthode de "régression linéaire"	140
8.3.2	Méthode d'analyse en composantes principales (ACP)	142
8.4	Discussions et conclusions	148
8.4.1	Influence de la salinité sur la mortalité des arbres	149
8.4.2	Influence de l'acidité	150
9	ETUDE EXPERIMENTALE DE LA TOLERANCE AUX SELS DES ESSENCES FORESTIERES	153
9.1	Introduction	153
9.2	Influence de la salinité sur la germination des semences forestières	153
9.2.1	Méthodes d'études	154
9.2.2	Résultats	154
9.3	Influence de la salinité sur la croissance de jeunes plants forestiers	156
9.3.1	Méthodes d'études	156
9.3.2	Résultats	158
9.3.3	Discussion et conclusion	160

10	ESSAIS DE REBOISEMENT DES SOLS SULFATES ACIDES SALES	163
10.1	Introduction	163
10.2	Méthodes d'études	163
10.3	Caractéristiques des sites d'essais	164
10.3.1	Les essais de Ngan	164
10.3.2	Les essais de Fatick	166
10.4	Les essences utilisées	167
10.5	Résultats et discussions	167
10.5.1	Comportement des espèces sur sols sulfatés acides salés: Essais de Ngan 1985	169
10.5.2	Comportement des espèces sur sols salés alcalins: Essais de Patick 1985	178
10.5.3	Conclusion	183
11	APTITUDES ET AMENAGEMENT DES SOLS DE TANNES	187
11.1	Introduction	187
11.2	Aptitudes des sols	187
11.2.1	Qualités des terres et critères de classement des terres	188
11.2.2	Les classes d'aptitudes	191
11.3	Aménagement des terres pour une mise en valeur agricole à moyen et long termes	194
11.3.1	Maitrise des eaux de surface	195
11.3.2	Dessalement	195
11.3.3	Amélioration de la fertilité	197
11.4	Recommandations	199
11.4.1	Niveau de salinité du sol	199
11.4.2	Distribution spatiale de la salinité	199
11.4.3	Etude des nappes phréatiques	199
11.4.4	Choix des essences à utiliser	200
	CONCLUSION GENERALE	201
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	203
	ANNEXES	217

INTRODUCTION GENERALE

A l'instar des autres écosystèmes naturels du pays, les domaines fluvio-marins ont été sévèrement endommagés par les déficits hydriques successifs engendrés au cours de ces vingt dernières années par la sécheresse endémique qui règne dans la zone sahélienne depuis les années 1971. Cette sécheresse trouve sa particularité dans sa sévérité et sa durée plus longue que celles qui ont jalonné l'histoire climatique de la sous-région depuis les années 1888 (Le Borgne, 1988). Partout les conséquences ont été atroces tant sur le plan environnement écologique que sur le plan de la productivité agricole des sols.

En effet dans tous les bassin-versant, particulièrement ceux du Sine Saloum et de la Casamance, la dégradation a été sans précédent, avec une disparition quasi-totale de la mangrove dans les cours supérieurs des fleuves et leurs affluents, à cause d'une sursalure et hyperacidification des sols. Ces deux phénomènes ont entraîné l'extension des tannes au delà de leurs limites habituelles et la dégradation des propriétés chimiques des sols.

L'existence des tannes dans ces zones remonte très loin, dans le passé, signalée par des études antérieures (Massibot et al., 1946; Emerit, 1960; Charreau, 1963), mais jamais leur dégradation et extension n'ont été aussi importantes que maintenant.

Alors que dans la plupart des pays les sols sulfatés acides résultent de l'intervention de l'homme, au Sénégal il s'agit essentiellement d'une conséquence de dégradation climatique caractérisée par une succession d'années sèches.

La formation de ces sols peut être qualifiée d'une véritable catastrophe écologique, car jamais dans la littérature une dégradation d'une telle importance, due à la fois par une salinité excessive et une hyperacidité n'a été signalée nulle part dans le monde. Du coup les schémas classiques de pédogenèse reconnus dans les sols salés et sulfatés acides se trouvent compliqués par la présence simultanée de ces deux paramètres.

Au niveau agricole la sursalure et l'hyperacidité constituent des contraintes majeures de la mise en valeur de ces sols. Elles ont eu des conséquences très lourdes dont les plus visibles sont une baisse de la productivité des sols, un recul des cultures traditionnelles au-delà de leurs zones habituelles et un délaissement des terres des terrasses basses argileuses transformées en véritables saumures. Dans le seul bassin du Sine Saloum environ 230 000 ha sont ainsi endommagés par ces deux facteurs, avec près de 140 000 ha dans le domaine des tannes. La gravité de la situation fait que les premières tentatives de récupération initiées vers les années 1965 (Beye, 1972; Beye et al., 1975; Sadio, 1985 et 1986) et les grands projets d'aménagements agricoles se sont soldés par des échecs entre 1970 et 1980.

Malgré leur forte dégradation, la récupération de ces tannes s'avère aujourd'hui plus que nécessaire pour satisfaire les besoins en produits alimentaires et en bois de feu d'une population plus nombreuse. En effet, actuellement, les importations de riz - principale denrée alimentaire de la population citadine - se chiffrent à près de 400 000 t/an (VII^e Plan) contre seulement 60 000 t en 1930 (Diemer et al., 1987). La consommation journalière en bois de feu varie entre 0,31 à 1,79 kg par personne. Les besoins futurs au niveau du pays sont évalués à environ 5 200 millions de tonnes de bois par an (Clément et al., 1986).

Force est de constater aujourd'hui que la mise en valeur agricole de ces sols sulfatés acides salés doit reposer tout d'abord sur des connaissances scientifiques solides, sur une meilleure maîtrise du fonctionnement du milieu et sur une approche pluridisciplinaire.

A l'état actuel de la péjoration du climat et de la dégradation des terres, les seules possibilités de récupération agricoles envisageables à court terme de ces tannes sont essentiellement le reboisement et l'aménagement pastoral. La mise en culture à grande échelle ne peut être envisageable qu'à moyen et long termes après une maîtrise des eaux de surface et un dessalement important des sols.

Les recherches que nous avons menées dans les tannes du Sine Saloum de 1982 à 1988 et dont il est question dans ce livre s'inscrivent dans le cadre de la connaissance de ces sols et les implications de leur récupération forestière. Convaincus du fait que seule une meilleure connaissance de leurs caractéristiques physico-chimiques et de leur fonctionnement

saisonnier peut permettre de proposer des solutions adéquates et durables de mise en valeur, nous avons tout d'abord mis l'accent sur la caractérisation des principaux types de sols et des différents processus de pédogenèse et la mise en évidence des contraintes. Ceci nous a ensuite permis de connaître la distribution et la dynamique d'évolution saisonnière des deux principales contraintes que sont la salinité excessive et l'hyperacidité et leur influence sur la croissance des arbres.

Les résultats de ces recherches sont exposés dans ce livre à travers 11 chapitres traitant des caractéristiques, de la genèse et de la classification de sols (chap. 1 à 6) et de la mise en valeur (chap. 7 à 11).

Caractéristiques, genèse et classification des sols

Le chapitre 1 présente les causes et les conséquences de la salinisation et de l'acidification des sols. Le chapitre 2 présente les unités géomorphologiques et végétales de la zone d'étude. Le chapitre 3 donne la répartition de la population dans la zone et les perturbations socio-économiques engendrées par la dégradation du milieu. Le chapitre 4 étudie les caractéristiques et la distribution spatiale des sols. Quant aux chapitres 4 et 5 ils traitent, respectivement, de la genèse des sols salés sulfatés acides et de la classification des sols.

Mise en valeur forestière

Le chapitre 7 traite de l'adaption de la végétation spontanée et de la relation sol-végétation en milieu salé et sulfaté acide. Le chapitre 8 traite de l'étude des contraintes de mise en valeur forestière. Il met en évidence le rôle de la salinité et de l'acidité sur la croissance des arbres. Le chapitre 9 traite de l'influence de la salinité sur la germination des semences forestières et les jeunes plants à partir d'expériences de laboratoire. Le chapitre 10 traite de l'introduction et de la sélection d'espèces forestières susceptibles d'être utilisées dans le reboisement des tannes pour la production du bois d'énergie ou pour assurer leur protection. Quant au chapitre 11 il donne les aptitude et les aménagements nécessaires pour la mise en valeur.

CHAPITRE 1

APERÇU GENERAL SUR LES SOLS SALES ET SULFATES ACIDES SALES DU SENEGAL

1.1 Introduction

Les études pédologiques menées au Sénégal entre les années 1946 et 1970 dans les milieux fluvio-marins, n'ont révélé que l'existence de sols salés dénommés sols halomorphes (Masibot et al., 1946; Charreau, 1963; Maignien, 1965). Les sols sulfatés acides n'ont été identifiés que récemment avec les études menés par Beye (1972), Vieillefon (1977) et Marius (1985).

Au cours de ces vingt dernières années les sols salés et sulfatés acides se sont extensivement développés à la suite des dégradations multifor- mes entraînées par la sécheresse atroce qui règne dans la zone sahélienne depuis 1971. On peut estimer, actuellement, à 60-80% la surface touchée par la sursalure et l'acidification dans les bassins des fleuves Saloum, Gambie et Casamance. La disparition de la mangrove et des forêts allu- viales peut être estimée à près de 60-100% entre 1970 et 1988.

1.2 Localisation et superficie occupée par les sols salés et sulfatés acides salés

La figure 1 donne la répartition des sols salés et sulfatés acides dans les différents domaines fluvio-marins et côtiers du Sénégal.

Dans le fleuve Sénégal les sols salés se rencontrent dans le delta et la moyenne vallée, entre Saint-Louis et Podor, où ils sont situés sur les terrasses alluviales limoneuses. Ils ont été classés par certains auteurs (Tricart, 1961; Maignien, 1965) parmi les sols peu évolués d'origine non climatique, d'apports alluviaux (CPCS, 1967). Les sols sulfatés acides salés ne se rencontrent que dans le delta, principalement autour de Saint-Louis, où subsistent encore une mangrove décadente à *Rhizophora* spp. et *Avicennia africana*.

Dans la grande Côte les sols salés ont été inventoriés dans la zone des

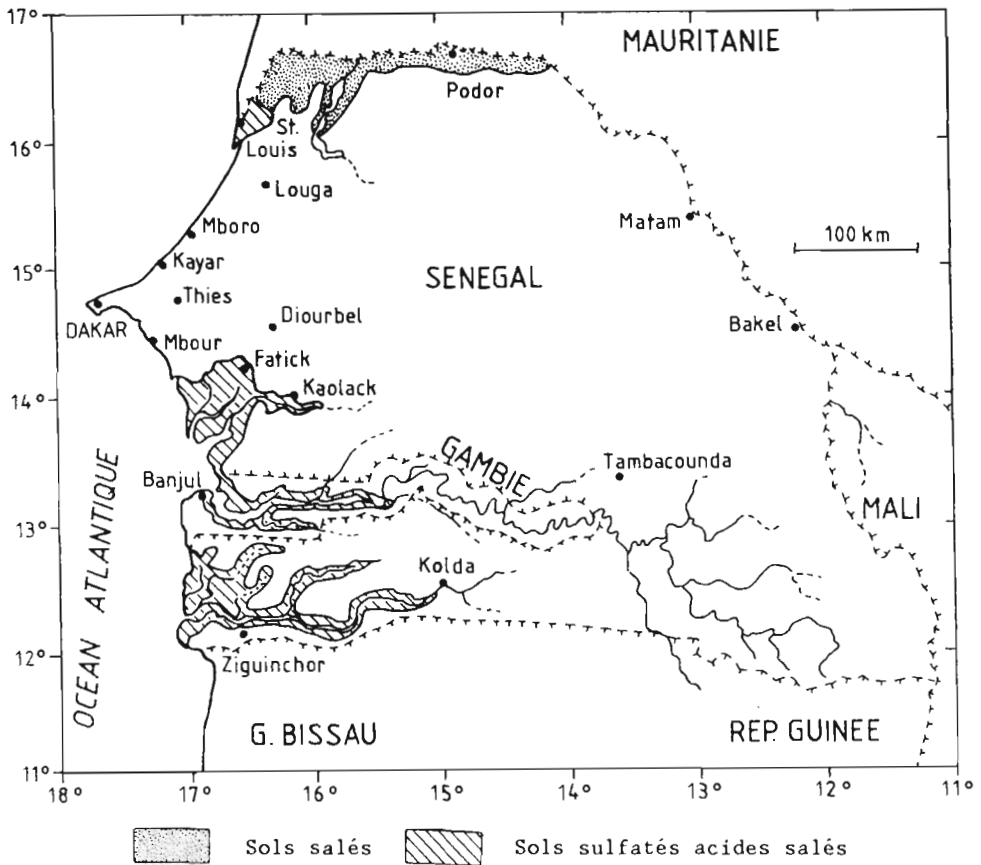


Figure 1: Carte de localisation des sols salés et sulfatés acides salés au Sénégal et en Gambie.

Niayes, entre MBoro et Dakar (Benaricha, 1985; Pereira-Barreto, 1961; Sadio, 1986) dans des dépressions ouvertes et autour des lacs salés (MBoro, Tanma et Kayar). Ces lacs, autrefois en communication avec la mer, ne le sont plus à cause de la fermeture du littoral par des cordons sableux formés lors de la dérive littorale qui s'est produite entre 4000 et 4200 ans B.P. (Michel, 1973).

Dans les bassins des fleuves Saloum, Gambie (Basse) et Casamance les sols sont affectés à la fois par la salinité et l'acidité. Ils occupent toutes les vallées alluviales et les vasières à mangroves.

La superficie totale occupée par les sols salés et sulfatés acides au Sénégal et en Gambie est estimée à environ 1 000 000 ha (Pereira-Barreto, 1985). Le tableau 1 donne la répartition des superficies selon les zones concernées par ces sols. On constate que la Casamance et le Sine Saloum comportent de loin les superficies les plus importantes.

1.3 Végétation caractéristique

Ces milieux affectés par la salinité et l'acidité appelés communément tannes* sont colonisées par une végétation herbacée et arbustive qui varie selon la région.

1.3.1 Fleuve Sénégal

- Delta: Mangroves (reliques) à *Rhizophora racemosa* et *Rhizophora mangle*, *Suaeda* spp., *Heleocharis* spp., *Borreria verticillata*, *Tamarix senegalensis*, *Sesuvium portulacastrum* et *Phyloxerus vermicularis*.
- Moyenne Vallée: *Borreria verticillata*, *Tamarix senegalensis*, *calotropis procera*, *Suaeda* spp. et *Euphorbia* spp.

1.3.2 Grande côte (Niayes)

Borreria verticillata, *Tamarix senegalensis*, *Heleocharis* spp. et *Suaeda* spp. Il existe à MBoro, près de la mer, quelques pieds de mangroves reliques à *Rhizophora racemosa* inondées par des eaux saumâtres et douces.

1.3.3 Petite côte

Tamarix senegalensis, *Borreria verticillata* et *Heleocharis* spp. Il existe une mangrove relique sur l'embouchure de la Somone.

* Tanne = mot Wolof (langue Sénégalaise) utilisé dans le Vocabulaire géomorphologique, désignant toute surface nue ou couverte de végétation, affectée par une salinité qui ne permet pas son utilisation agricole.

Tableau 1: Superficies approximatives, pH et conductivité électrique des sols salés et sulfatés acides salés au Sénégal et en Gambie.

Zones	Superficie (hectares)	Types de sols	pH et conductivité électrique (Ext.1/5)
<u>Fleuve Sénégal</u> (1)	400 000		
- Delta	30 000	sols sulfatés acides et sols salés	pH*: 3,0-5,0; C.E: 5-15 mS/cm pH: 5,0-7,3; C.E: 1,0-10,0 mS/cm
- Moyenne vallée	370 000	sols salés	pH: 5,3-8,7; C.E: 0,3-5,0 mS/cm
<u>Grande côte</u> (Niayes) (2)	5-8000	sols salés	pH: 5,3-8,7; C.E: 0,2-16,0 mS/cm
<u>Petite côte</u> (3)	< 100	sols sulfatés acides et sols salés	pH: 3,0-7,3; C.E: 0,1-8 mS/cm
<u>Bassin du Sine Saloum</u> (4)	230 000		
- Domaine fluvio-continental	140 000	sols salés et sols sulfatés acides	pH: 4,0-8,9; C.E: 0,1-14,5 mS/cm pH: 3,3-6,5; C.E: 1,0-90 mS/cm
- Domaine estuarien	90 000	sols sulfatés acides	pH: 3,0-7,6; C.E: 8,0-85 mS/cm
<u>Bassin du fleuve Gambie</u> (5)	143 000	sols sulfatés acides et sols salés	pH: 2,5-7,6; C.E: 5,0-85 mS/cm
<u>Bassin du fleuve Casamance</u> (6)	400 000	sols sulfatés acides et sols salés	pH: 2,5-7,6; C.E: 2,0-90 mS/cm

* Pour les sols sulfatés acides, il s'agit de pH in situ. Les pH des échantillons secs sont compris entre 2,5 et 4,5.

D'après les études de:

(1): Lebrusq, 1980; Breauveau, 1978; Mougenot, 1982; Seny-Boukar, 1983.

(2): Pereira-Barreto, 1961; Benaricha, 1985; Sadio, 1986.

(3): Sadio: prospections pédologiques.

(4): Marius, 1985; Sadio, 1986.

(5): Marius, 1985.

(6): Beye, 1972; Vieillefont, 1977; Marius, 1985; Boivin et Lebrusq, 1984; Loyer et al., 1986.

1.3.4 Bassin du Sine Saloum

- Domaine des tannes: *Borreria verticillata*, *Tamarix senegalensis*, *Combretum glutinosum*, *Conocarpus erectus* et mangrove relique décadente à *Rhizophora racemosa*, *Rhizophora mangle* et *Avicennia africana*.
- Domaine estuarien: Mangrove à *Rhizophora racemosa*, *Rhizophora mangle* et *Avicennia africana*, *Sesuvium portulacastrum*, *Phyloxerus vermicularis*, *Paspalum vaginatum*, *Heleocharis mutata*, *Heleocharis caribaea*, *Scirpus*

maritimus et *Sporobolus robustus*.

1.3.5 Bassins des fleuves Gambie et Casamance

Mangrove à *Rhipzophora racemosa*, *Rhizophora mangle*, *Rhizophora harrissonii*, *Avicennia africana*, *Conocarpus erectus* et à *Laguncularia racemosa*, et *Sesuvium portulacastrum*, *Phyloxerus vermicularis* et *Paspalum vaginatum*.

1.4 Conséquences de la sursalure et de l'acidification

La sursalure et l'acidification des sols ont entraîné des conséquences dramatiques sur l'environnement naturel et les systèmes de production agricole.

1.4.1 Dégradation de l'environnement

Les déficits pluviométriques et l'intense évaporation provoquée par des températures très élevées, dus à la sécheresse ont entraîné une extension de la superficie des tannes sursalés et acidifiés à cause de l'accumulation de quantités plus importantes de sels à la surface des sols et de l'oxydation de la pyrite des sédiments. Cette extension des tannes s'est faite aux dépens des terres de culture, de la mangrove et de la végétation naturelle, comme l'illustrent les photos 1 à 3.

Dans le bassin du Sine Saloum la sursalure et l'acidification des sols ont entraîné la disparition totale de la mangrove dans le cours supérieur du Saloum et du Sine et dans leurs affluents, au nord de 14°07 latitude nord. Plus de 70% des forêts d'*Acacia seyal* (photo 3) et environ 30-40% des forêts de *Combretum glutinosum* ont totalement disparu. Le tableau 2 donne à titre indicatif la proportion des tannes dans trois zones du domaine des tannes du bassin du Sine Saloum. Les photographies aériennes de 1969 montrent que ces zones étaient couvertes de végétation plus abondante avant l'apparition de la sécheresse.

Dans le bassin du fleuve Casamance environ 70 à 80% de la superficie occupée par la mangrove s'est transformée en tannes sursalés entre 1969 et 1980 dans les marigots de Kamobeul, Guidel, Soungrougrou et Baila (Marius,

Tableau 2: Superficie occupée par les sols sulfatés acides salés dans trois zones du Sine Saloum (Daffé et Sadio, 1988) (fig. 8).

Zones	Superficie zone (ha)	Superficie cartographiée (ha)	Superficie (ha) des sols sulfatés acides salés	Unités cartographiées (3)
<u>Zone I:</u> Djilor-Vélor et Saloum	13500	4900 (36.2%)(1)	2082 (42.5%)(2)	- Tannes à végétation herbacée peu dense et dégradée
<u>Zone II:</u> Tattaguine-Djilass-Diofior-Faoye	15000	7800 (52%)	7324 (93.9%)	- Tannes à végétation arbustive dense, peu dense et dégradée
<u>Zone III:</u> Sibassor-Gandiaye keur Alfa-keur Bakary-Saloum	13000	4300 (33.1%)	3652 (84.9%)	- Tannes localement couverts de végétation - Tannes presque nus
Total	41500	17000 (41%)	13058 (76.8%)	

(1): Pourcentage par rapport à la superficie totale de la zone.

(2): Pourcentage par rapport à la superficie cartographiée.

(3): La superficie de la zone comprend, en outre des unités cartographiées, des vasières, des tannes nus sursalés, des terrains de culture (30-50%) et des forêts.

1985). La même tendance a été observée dans un affluent du Soungrougrou, dans la vallée de Koubalan (photo 2), où la superficie de la mangrove n'était plus que de 16% en 1985, contre 34% en 1969 (Boivin et al., 1984). Parallèlement la superficie des tannes a doublé, voire-même triplé dans certaines zones. Les tannes nus à vasières inondées sont devenus de véritables bassins évaporatoires où précipitent des quantités importantes de sels. Le régime hydrologique a complètement été inversé, avec un écoulement des tannes vers le plateau. Les chenaux des marées et les affluents se transforment en saumures, deux à trois mois après la saison des pluies.

1.4.2 Conséquences socio-économiques

La sursalure et l'hyperacidité ont sérieusement affecté les systèmes de production et la productivité agricoles.

Certaines cultures traditionnelles pratiquées dans la zone de mangrove telles que la riziculture, ont fortement régressé ou disparu totalement de la plupart des terrasses basses. C'est le cas en Casamance où les rizières des bordures de terrasses argileuses et des vasières (photo 2) ont été abandonnées par les paysans, faute de pouvoir les récupérer par les méthodes traditionnelles d'aménagement. Dans le bassin du Sine Saloum, la riziculture qui y était pratiquée (Massibot et al., 1946; Bonfils et Charreau, 1963; Bonfils et Faure, 1965), est aujourd'hui limitée aux dépressions et aux cuvettes. C'est surtout la zone ouest, comprise entre Loul-Sessène, Fimela et Faoye (figure 8) qui est la plus touchée du bassin, avec plus de 50% des terres de culture affectées par la salinité et l'acidité. Ceci oblige les paysans à parcourir des distances d'une dizaine de kilomètres à la recherche de champs plus fertiles.

Les activités de pêche qui constituent la principale préoccupation des populations des îles et des bordures ont fortement diminué à cause de la disparition des poissons à la suite de la sursalure des cours d'eau dont les conductivités électriques sont 2 à 4 fois supérieures à celle de l'eau de mer (46 mS/cm).

Mais il s'est en même temps développé des activités secondaires telles que l'exploitation et le commerce du sel, en Casamance et surtout au Sine Saloum dans les zones de Birkélane, Djilass et Fimela (photo 4). Ces activités procurent un revenu substantiel aux paysans.

Comme autre conséquence très douloureuse, on peut citer le problème d'alimentation en eau potable. En effet la plupart des ressources en eau dans le bassin du Sine Saloum sont affectées par la salinisation et l'acidification à cause du tarissement des nappes d'eau douce et de la remontée du biseau salé. Le tableau 3 donne la qualité des eaux de quelques puits et forages dans certaines localités du bassin du Sine Saloum (Daffé et Sadio, 1988).

1.5 Conclusion

Cet aperçu met en exergue la signification d'une longue et sévère période sèche sur la salinisation et l'acidification des sols et les véritables problématiques de développement agricole que cela pose dans les

Tableau 3: Qualité des eaux de quelques puits et forages de certaines localités du bassin du Sine Saloum.

Localités	Profondeur (m)	Ph	Conductivité électrique (mS/cm)
Keur Bani Soutoura	8,0	4,0	1,0
Vélor Sérère	12,0	4,0	1,0
Keur Bakary	4,0	4,0	3,0
Djilass	6,0	3,5	0,6
Faoye 1	6,0	5,7	2,6
Faoye 2	5,0	6,0	1,8

principaux bassins fluvio-marins du Sénégal.

Si le problème est moins grave dans le bassin du fleuve Sénégal grâce à la faible salinité et la petite surface concernée par l'acidification, par contre au Sine Saloum, en Gambie et en Casamance la situation est assez dramatique. La forte dégradation de l'environnement dans ces bassins a entraîné une grande mutation dans les pratiques agricoles et dans les comportements socio-économiques des paysans (chap. 3).

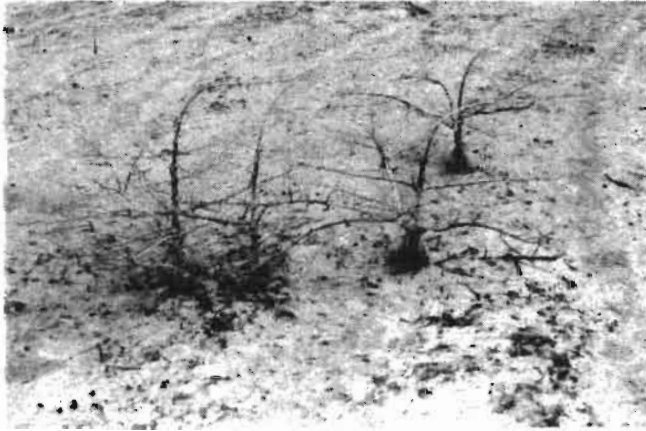


Photo 1: Mortalité de la mangrove à *Avicennia africana* sous l'effet de la sursalure et l'acidification des sols (Barrage de Guidel: Casamance).



Photo 2: Rizières transformées en saumure: précipitation des sels en surface dans la vallée de Koubalan (Casamance).



Photo 3: Dégradation des forêts alluviales à *Acacia seyal* sous l'effet de la salinisation progressive dans les tannes du Sine Saloum (Ngan).



Photo 4: Exploitation du sel dans les tannes du Sine Saloumn (Sassara).

CHAPITRE 2

MILIEU PHYSIQUE FLUVIO-MARIN DU BASSIN DU FLEUVE SALOUM

2.1 Introduction

Les tannes du Sine Saloum paraissent le milieu le plus complexe des domaines fluvio-marins sénégalais. Cela tient à la diversité des unités géomorphologiques héritées des différents épisodes morphogénétiques qui ont façonné le paysage au Quaternaire, à la variation du climat du Nord au Sud et à la forte densité du réseau hydrographique.

Ils diffèrent morphologiquement de ceux de la Gambie et Casamance par la nature du substratum sédimentologique plus sableux et par les unités végétales plus étendues.

2.2 Situation géographique

La carte de la figure 2 montre les limites de la zone concernée par les sols sulfatés acides salés. Cette zone est comprise entre 13°35' (mer) et 14°30' (nord de Diakhao) latitudes nord et entre 16° (Est de Kaolack) et 16°50' (secteur de Fadhiout) longitudes ouest. La superficie totale englobée est de 250 000 ha environ, répartie dans les régions de Fatick et Kaolack (fig. 2).

La zone comprend deux parties qui se distinguent par le climat, le régime hydrologique et l'importance des tannes. Il s'agit de:

- domaine estuarien: compris entre 13°35' et 14°08' latitudes nord, c'est à-dire, entre la mer et la ligne Fimela-Foundiougne-Sokone. Il se caractérise par la présence de nombreuses îles formées par de nombreuses ramifications des chenaux de marées et par des vasières à mangroves.

Le fonctionnement actuel du cours inférieur du Saloum fait que ce domaine ne répond plus à la définition d'un vrai delta (Chamley, 1988), car depuis l'installation de la sécheresse les apports fluviaux sont devenus très faibles par rapport à l'influence marine.

La pénétration profonde de la marée dynamique (eaux salées et douces

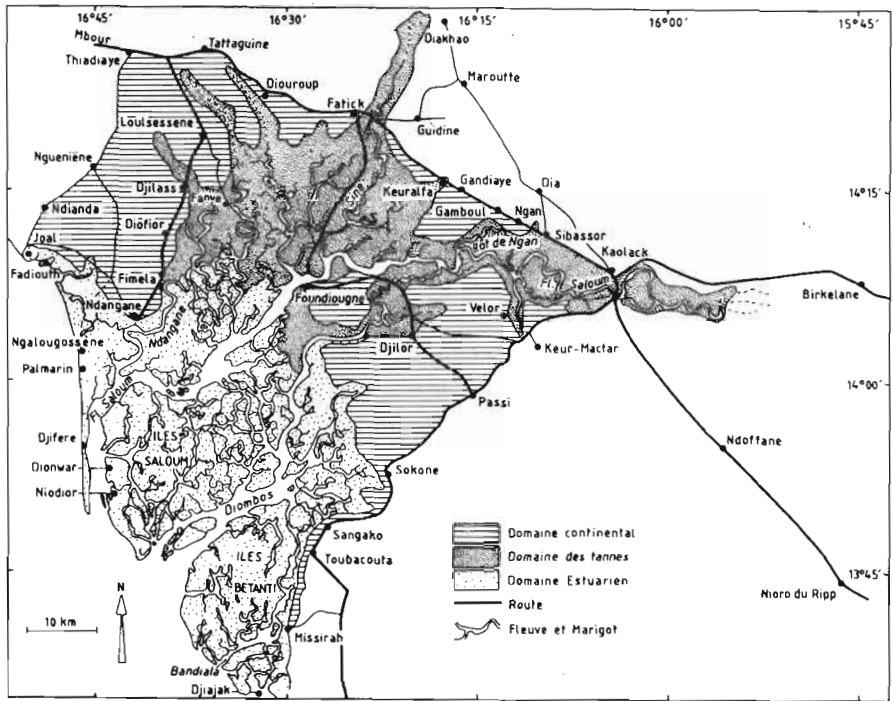


Figure 2: Carte du domaine fluvio-marin du bassin du fleuve Saloum.

poussées par le flot), nous amène à utiliser le terme "estuaire" pour désigner ce domaine.

La multitude des chenaux de marées et sa végétation le différencient des estuaires de la Casamance et de Gambie.

- domaine des tannes: compris entre $14^{\circ}08'$ et $14^{\circ}20'$ latitudes nord (fig. 2), il s'étend plus au nord jusqu'à $14^{\circ}30'$ latitude nord dans les zones de Diakhao et Gossas où les sols sont seulement salés. Il est caractérisé principalement par la présence de tannes très répandus, ce qui lui vaut cette appellation de "domaine des tannes". Les vasières

sont peu représentées et sont localisées le long des fleuves et affluents.

Il diffère de l'estuaire par l'extension des tannes et par son fonctionnement nettement plus influencé par les apports (sédiments, eaux) du plateau continental.

Ce domaine fait plus des 2/3 de la superficie totale du bassin. C'est lui qui constitue notre zone de recherches dont il est question dans ce livre.

2.3 Climat

Le climat appartient au domaine Sahélo-Sénégalais (Leroux, 1980). C'est une variante du domaine Soudano-Sahélien (Aubréville, 1950). Il est caractérisé par des températures moyennes mensuelles comprises entre 26 et 31°C et par des précipitations normales de 600 à 900 mm/an (1931-1960), qui ne sont plus maintenant que de l'ordre de 400 à 600 mm (fig. 3). Après quelques déficits pluviométriques enregistrés entre 1921 et 1967, le climat a accusé une sécheresse dramatique depuis 1971 jusqu'à présent, avec seulement 30 à 50% des précipitations normales (fig. 4).

Il est dominé par les vents secs de l'harmattan, soufflant d'octobre à juin avec une vitesse de 2 à 5 m/s.

Les précipitations cumulées annuelles recueillies dans la zone entre 1921 et 1985 montrent d'importantes variations zonales (fig. 5) et un rétrécissement de la période humide (fig 6).

On distingue trois zones climatiques:

- Zone peu arrosée: secteur de Fatick, compris entre 14°20' et 14°08' latitude nord, caractérisée par des précipitations faibles dont la moyenne au cours de la période 1921 à 1985 est de 728 mm, avec un écart-type de 216. La moyenne des périodes 1931-1960 et 1961-1985 est respectivement de 810 mm et 582 mm (fig. 5).
- Zone moyennement arrosée: secteur de Kaolack et Foundiougne compris entre 14°08' et 14°03' latitude nord, et caractérisé par des précipitations oscillant entre 1276 mm (1936) et 305 mm (1983) avec une moyenne de 741 mm et un écart-type de 243 (fig. 5). La moyenne des périodes 1931-1960 et 1961-1985 est respectivement de 796 mm, et 612 mm.

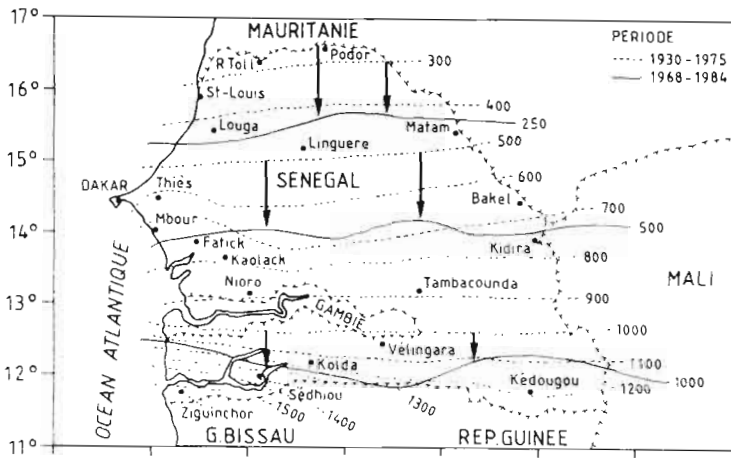


Figure 3: Translation des isohyètes entre 1930 et 1984 (carte réalisée à partir de celle de Dancette, 1979 et de Le Borgne, 1988).

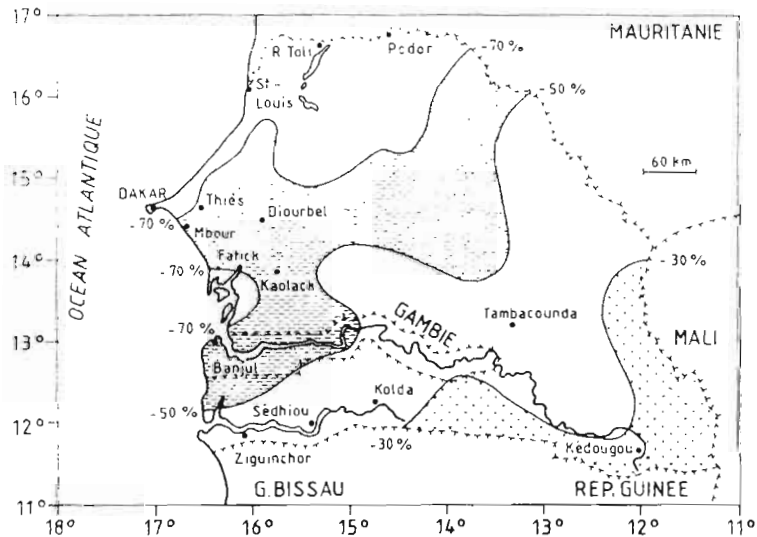


Figure 4: Déficit pluviométrique en 1983 (Ecart à la normale de 1931-1960) (D'après Le Borgne, 1988).

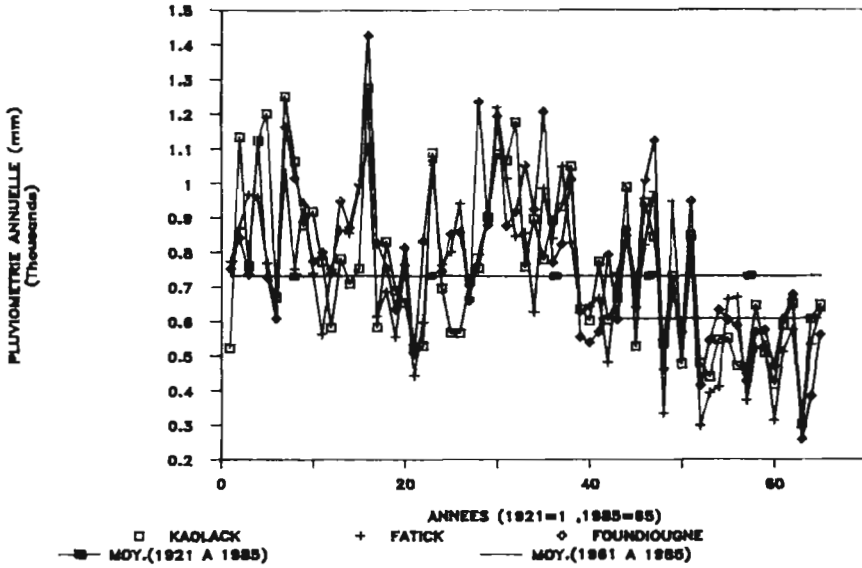


Figure 5: Variation de la pluviométrie annuelle (mm) de 1921 à 1985 dans les secteurs de Kaolack, Fatick et Foundiougne.

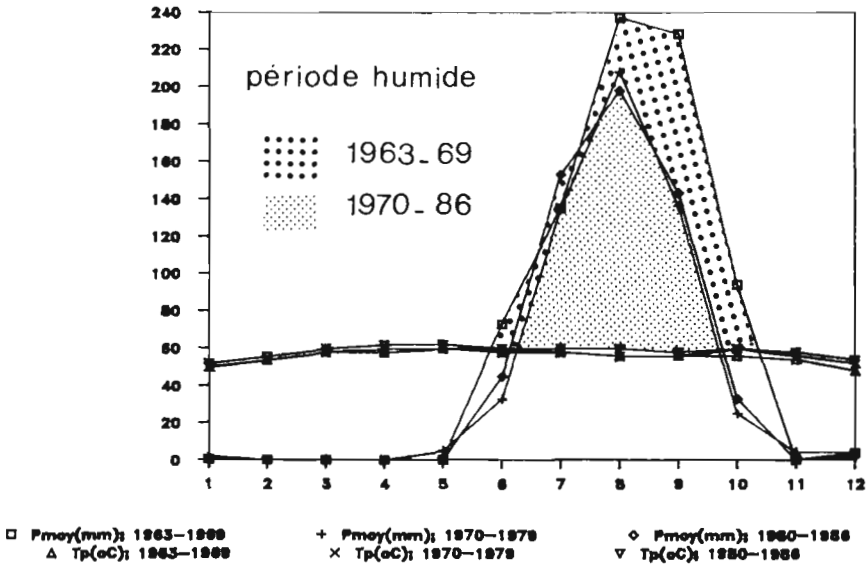


Figure 6: Diagramme ombrothermique de trois périodes 1963-1969, 1970-1979 et 1980-1986, dans le secteur de Kaolack.

- Zone plus arrosée: secteur sud de Foundiougne, c'est-à-dire au sud de la latitude $14^{\circ}03'$ (fig. 2). Elle est caractérisée par des précipitations plus élevées, oscillant entre 1427 et 308 mm durant la période 1921-1985 avec une moyenne de 877 mm et un écart-type de 234 mm. La moyenne des périodes 1931-1960 et 1961-1985 est respectivement de 893 et 637 mm.

2.4 Géologie

La géologie de la région est marquée par des formations du Continental Terminal et des sédiments du Quaternaire. Les formations du Continental Terminal, principalement détritiques provenant du déblaiement des produits d'altération de la deuxième surface d'aplanissement (Maignien, 1965), sont recouvertes par les sédiments du Quaternaire dans la quasi-totalité de l'ensemble du bassin.

2.5 Unités géomorphologiques

2.5.1 Façonnement du modelé

Au Quaternaire récent les différents épisodes géologiques engendrés par l'alternance de périodes humides et sèches ont profondément façonné le milieu. Le réseau du Sine Saloum se serait mis en place pendant la période humide ayant succédé à l'Ogolien entre 13 000 et 8 000 ans B.P. (Michel, 1973). Au cours de cette période humide l'estuaire actuel, alors zone déprimée, recevrait les épandages des fleuves du Sine, du Saloum et de Khombole (Diop, 1978, 1988).

Mais le plus grand façonnement de l'ancien delta et du domaine des tanes reste attribuable à la transgression nouakchottienne (flandrien) qui a demeuré la période humide la plus longue et dont le maximum se situerait, d'après Michel (1973), vers 5 500 ans B.P. A cette période la mer dont le niveau dépassait celui du continent d'environ 2 m, aurait pénétré le continent sur une distance estimée à 200 km (Michel, 1973). Le maximum se situerait au Saloum vers 5528 ± 150 ans B.P. (Sall et Diop, 1976,

1975), date à laquelle la mer a pénétré la partie déprimée du Saloum jusqu'en amont de Birkélane (situé à 120 km de la mer) et remonté les basses vallées (aujourd'hui fossiles) du Sine en avant de Fatick.

Pendant les différentes périodes humides, particulièrement le Nouakchottien, et la régression post-nouakchottienne (4000 ans B.P.), il y aurait eu des séries de comblement de l'ancien delta et des fleuves par des apports de matériaux constitués surtout de sables fins et de limons arrachés du bas plateau continental. Ces matériaux constitueraient les terrasses actuelles. Celles-ci sont souvent associées à une faune marine (huîtres, coquillages, mollusques) dans les vasières à mangrove au niveau du domaine estuarien. Il s'agirait d'une faune nouakchottienne, comme l'ont prouvé les datations réalisées sur des coquilles prélevées dans l'ancien delta sur les terrasses de Djirnda à -140 cm (5528 ± 150 ans B.P.: *Anadara senilis* et *Crassostrea gasar*), et d'une faune post-nouakchottienne comme le montrent les coquilles de Dionewar à -35 cm (2552 ± 100 ans B.P.: *Anadara senilis* et *Tympanotonus fuscatus*) et à -45 cm sur cordon littoral (2697 ± 100 ans B.P.: *Anadara senilis*) (Diop, 1978). Des datations réalisées sur des amas de coquilles de Diorum Boumak (Saloum), hauts de 12 m, signalent la présence humaine dans l'ancien delta entre 1160 ± 80 et 1580 ± 80 ans B.P. (Marius, 1985). Les mêmes coquilles se rencontrent aussi en Casamance, mais en profondeur et sont plus récentes, datant de 900 ans B.P. (Linares de Sapir, 1971).

La présence d'huîtres dans la zone étant étroitement liée à celle des palétuviers on peut situer l'installation de la mangrove dans la zone vers cette période (Marius, 1985).

Entre 4800 et 4200 ans B.P. cette zone a connu une autre série de perturbations dues à la dérive littorale entraînée par la grande houle NS et qui ont provoqué la fermeture partielle du golfe par la formation de cordons littoraux constitués de dunes de sables.

Ces différents épisodes climatiques ont abouti à la formation d'unités géomorphologiques très distinctes qui s'intègrent dans les deux grands ensembles, à savoir le Domaine estuarien et le Domaine des tannes.

2.5.2 Domaine estuarien

2.5.2.1 Cordons littoraux

Ce sont les cordons littoraux issus de la période de la grande dérive littorale et qui se sont formés le long de la côte. Ils sont plus ou moins éolisés et orientés N.S.

La végétation est composée principalement de *Scaevola plumieri*, *Althernantera maritima*, *Ipomea pescaprae*, *Cyperus maritimus* (Diop, 1978).

Les sols sont de types minéraux bruts.

2.5.2.2 Vasières à mangroves

Ce sont des dépôts argileux plus ou moins sableux ceinturant les cours d'eau dans la zone intertidale (Cook et al., 1977) régulièrement recouverte par les eaux des marées.

La végétation est composée de *Rhizophora mangle*, *Rhizophora racemosa* et *Avicennia africana*, sous forme d'un rideau plus ou moins mince. Dans certains endroits le *Rhizophora* est absent. *Avicennia africana* est très représenté et se trouve en arrière du *Rhizophora mangle*.

Dans les cours d'eau encore en fonctionnement la mangrove est bien conservée, comme dans le Diombas, près de Missirah, où nous avons observé en Janvier 1988 une bonne régénération de *Rhizophora racemosa* sur la vase nue.

2.5.2.3 Tannes vasières

Ce sont d'anciennes vasières à mangrove qui ne sont plus inondées maintenant en permanence, comme jadis et correspondant aux parties intertidale et supratidale. Ils assurent le passage avec les tannes à halophytes.

La végétation herbacée est constituée par *Sesuvium portulacastrum* et *Phyloxerus vermicularis*.

Les sols sont de types sulfatés acides à jarosite salés sur les 50-70 premiers centimètres et potentiellement sulfatés acides en profondeur.

2.5.3 Domaine des tannes

2.5.3.1 Tannes vasières

Ce sont les mêmes que ceux du domaine estuarien (2.5.2.3), d'altitude variant entre 4,5 et 4,7 m. Ils bordent les chenaux de marées et les marigots devenus totalement dénudés et juxtaposent les tannes nus* (Daffé et Sadio, 1988).

Ils portent les mêmes sols que ceux du domaine estuarien.

2.5.3.2 Terrasses basses inondables

Ce sont des zones plus exondées que les précédentes et à topographie légèrement surélevée, d'altitude comprise entre 4,7 et 5,1 m. Elles sont constituées de tannes nus à efflorescences salines et sont inondées par les marées hautes.

Elles portent les mêmes sols que les tannes vasières mais sont plus évolués.

2.5.3.3 Terrasses moyennes

Ce sont des terrasses plus surélevées que les précédentes (5 à 5,4 m), caractérisées par une topographie plane plus ou moins inclinée (pente: 0,2 à 0,5%) dans le sens du cours d'eau. Elles comportent des tannes assez variés.

Cette unité est caractérisée par la nette dominance de *Borreria verticillata* qui y occupe souvent des massifs purs denses à très denses entre 14°07' et 14°20' Lat-Nord, depuis Sibassor (10 km à l'ouest de Kaolack) jusqu'à Fimela en passant par Fatick. Cette espèce est associée très souvent à des graminées telles que *Andropogon gayanus*, *Ctenium elegans*, *Eragrostis spp.*

* Certains auteurs (Vieillefon, 1977; Diop, 1978; UNSO, 1983; Marius, 1985) utilisent le terme "vif" pour différencier ces tannes de ceux couverts de végétation. Nous lui préférons le terme "nu" car il traduit mieux l'état de surface.

On distingue:

- **Tannes à végétation herbacée***: ces tannes sont colonisés uniquement par une végétation constituée de plantes herbacées et de graminées. Lorsque le sol est couvert à plus de 70%, on a affaire à un tanne à végétation herbacée dense et entre 50 et 70% elle est dite peu dense. Ils sont très répandus des tannes du Sine Saloum. Ils sont occupés par les sols sulfatés acides salés évolués et des sols sulfatés acides hydromorphes salés.
- **Tannes à végétation herbacée localement arbustive**: ce sont des tannes caractérisés par une végétation herbacée accompagnée d'arbustes dispersés sur le terrain et qui occupe moins de 30% de la surface. Ils sont occupés par les mêmes sols que ceux des tannes précédents, mais plus évolués.
- **Tannes localement couverts**: ce sont des tannes à végétation herbacée très dégradée, avec moins de 40% de couverture du sol. Les espèces sont principalement *Phyloxerus vermicularis* et *Sesuvium portulacastrum*. Ils sont parsemés de micro-dunes sableuses ou limoneuses résultant de l'action des vents. Les vents y exercent une très grande influence sur les états de surface par les phénomènes de déflation des particules fines limoneuses dont l'accumulation autour des touffes d'herbres entraîne la formation de micro-dunes. La présence de micro-dunes dans ces sols a été mise en évidence par plusieurs auteurs sur les tannes du Sine Saloum (Diop, 1978) ou de la Casamance (Vieillefon, 1977 et Marius, 1985).

Les sols sont de type sulfatés acides salés, moins évolués que ceux des unités précédentes.

- **Tannes nus**: correspondent aux endroits totalement nus, à surface couverte de couche de sels cristallisés, de structure poudreuse, pelliculaire ou en croute. Les sols sont de type sulfatés acides salés non évolués.

* Nous avons préféré ces appellations à celles de tanne herbacé ou arbustif employés par plusieurs auteurs (Vieillefon, 1977, Marius, 1985), car elles nous semblent impropres dans la mesure où elles ne qualifient pas l'état de surface, mais plutôt la végétation.

2.5.3.4 Terrasses hautes

Elles sont caractérisées par une topographie plus élevée que celle des autres avec une altitude de 5,4 à 5,6 m. La surface est plane. Elles sont entourées souvent par les chenaux de marée ou les tannes nus. Elles sont de deux types:

- caractérisé par des matériaux généralement argileux à limoneux peu sableux et peu salés, avec des pH peu acides à alcalins et colonisés par une végétation forestière arbustive à arborescente d'*Acacia seyal* qui constitue des peuplements purs ou en mélange avec d'autres espèces telles que *Acacia senegal*, *Balanites aegyptiaca* et quelques pieds de *Acacia nilotica*, *Acacia macrostachya* et *Adansonia digitata* (baobab). Il présente des sols salés sulfatés alcalins.
- caractérisé par des sols sableux, colonisés par *Combretum glutinosum*. Les sols sont de types sulfatés acides peu salés évolués.

2.5.3.5 Glacis de raccordement

C'est une surface à plan incliné orienté du plateau vers les cours d'eau. Le glacis est situé à la bordure du plateau continental et a une altitude de 5,6 à 5,8 m. Il est constitué souvent par des matériaux colluviaux arrachés du plateau continental et transportés par les eaux de ruissellement, reposant sur des alluvions souvent sablo-argileuses.

Il doit son nom au fait qu'il assure le passage du plateau continental aux terres basses inondables. Cette unité est bien représentée dans la zone, occupant la deuxième place après les terrasses moyennes des tannes à végétation herbacée.

La végétation est dominée par *Combretum glutinosum* qui constitue des peuplements peu denses à denses, purs ou en mélange avec *Pyliostigma reticulatum* ou *Guiera senegalensis*. Il est fréquemment associé au *Borreria verticillata* qui domine sur la partie inférieure du glacis. Dans la partie amont du glacis on trouve des espèces forestières arbustives et arborescentes telles que *Acacia seyal*, *Balanites aegyptiaca*, *Lannea acida*, *Sclerocarya birrea*, *Parkia biglosa*. La végétation herbacée est très variée, composée, entr'autres de *Andropogon* spp., *Cenchrus biflorus*, *Cassia tora*. Le milieu est faiblement affecté par la salinité, mais est caractérisé

par des pH souvent acides.

Il comprend des sols sulfatés acides évolués peu salés, des sols salés sulfatés, des sols sulfatés acides hydromorphes salés.

2.5.3.6 Dépressions

A l'intérieur de ces différentes unités on rencontre des dépressions qui se remplissent d'eau de pluies pendant l'hivernage. Les principales espèces sont: *Borreria verticillata*, *Mitragyna inermis*, *Cyperus* spp., *Tamarix senegalensis*. La première et la troisième forment souvent des massifs purs. Le sol est souvent dessalé dans la partie supérieure, mais a des pH acides.

2.5.3.7 Dunes

Ces unités se caractérisent par leur topographie plus élevées que celles des terrasses moyennes à l'intérieur desquelles on rencontre les micro-dunes sableuses. Elles résultent soit de la période ogolienne soit ce sont des restes du plateau, car elles ont les mêmes sols et la même hauteur (5,8-6 m) avec le plateau continental (fig. 7b).

La végétation herbacée est à base de *Cenchrus biflorus*, *Ctenium elegans*, *Andropogon* spp., associées à des arbustes tels que *Guiera senegalensis*, *Combretum micrantum* et *Pyliostigma reticulatum*.

Les sols sont généralement de types ferrugineux tropicaux hydromorphes à pseudogley acides en profondeur (60-80 cm) et sulfatés acides hydromorphes salés.

2.5.4 Succession des unités dans le paysage

La succession des différentes unités dans l'espace est très complexe de telle sorte qu'il est difficile d'établir une séquence typique. Les unités varient le long des séquences selon la zone où l'on se trouve. Les figures 7a et b illustrent les séquences classiques que l'on rencontre dans la zone. La figure 7a caractérise la succession des unités géomorphologiques et végétales et les types de sols le long d'une séquence dans le domaine de l'Estuaire. La figure 7b caractérise la succession dans le domaine des

tannes.

2.5.5 Hydrologie

Le réseau hydrographique du Saloum constitue avec le Diombas et le Bandiala les trois principaux bras de mer qui parcourent la zone estuarienne.

Ce réseau constitué de nombreux marigots (Ngan, Faoye) en plus des chenaux de marées, a fonctionné pendant le Quaternaire et probablement durant les périodes humides contemporaines, jusqu'au début du 20^e siècle, comme un véritable delta dans son cours inférieur (Diop, 1978). Aujourd'hui, malgré les phénomènes de subsidence au niveau de l'embouchure (Faure et al., 1974) le cours des marées se trouve profondément modifié à cause de l'influence fluviale quasi-nulle.

La circulation des eaux du continent vers la mer est très faible et limitée à environ 2 mois (Août et Septembre). Actuellement le réseau principal et les chenaux sont envahis pendant la quasi-totalité de l'année par des eaux sursalées qui remontent le Saloum jusqu'à 120 km (Birkélane). La faiblesse des pentes inférieures à 0,5%, le comblement des chenaux principaux par les matériaux apportés du plateau et la faiblesse des précipitations sont à l'origine de cette dégradation. L'amplitude des marées est de 1,4 m près de l'embouchure, de 0,40 m à Kaolack et 0,20 m dans les chenaux de marées. Selon Marius (1985), le Saloum ne serait aujourd'hui qu'un simple ria dont le chenal est parcouru exclusivement par les eaux marines.

Les années de sécheresse qui se sont succédées depuis 1971 ont profondément affecté la végétation des mangroves qui bordaient pendant les périodes humides le Saloum jusqu'au-delà de Kaolack et le Sine jusqu'à Fatick. Aujourd'hui seules les souches mortes rendent compte de l'existence de cette végétation dans toute la partie au nord de 14°07' latitude nord.

CHAPITRE 3

MILIEU HUMAIN DU DOMAINE DES TANNES DU SINE SALOUM

3.1 Introduction

Le bassin du Sine Saloum est une zone très peuplée avec une densité de 86 hbts/km² contre 50 hbts/km² au niveau national. Contrairement aux bassins des fleuves Gambie et Casamance où les populations vivent dans les zones de bordure, ici toutes les zones sont occupées, même les îles situées à l'intérieur de l'estuaire.

Les principales activités des populations sont la pêche dans le domaine estuarien, l'agriculture et l'élevage dans les domaines des tannes.

3.2 Organisation administrative

La zone du bassin du Sine Saloum appartient à deux régions administratives qui sont Fatick et Kaolack.

Chaque région comporte trois départements divisés en arrondissements qui regroupent chacun un certain nombre de communautés rurales au sein desquelles sont regroupés les villages (10 à 20). Le tableau 4 donne le nombre des villages dans les différentes zones administratives.

Au niveau de chaque capitale régionale se trouvent des inspections régionales d'Agriculture, Eaux et Forêts, Elevage, Génie Rural et d'autres services tels que la promotion humaine, hydraulique.

3.3 Population

La densité de la population est de l'ordre de 61 hbts/km² contre 86 hbts/km² au niveau des deux régions. Comme on peut le constater sur les tableaux 2 et 4 la population concernée par la salinisation et l'acidification des sols est plus importante dans la région de Fatick où les tannes occupent près de 85% de la superficie totale affectée.

Tableau 4: Population de la zone concernée par la salinisation et l'acidification des sols
(source: UNSO, 1983) dans le domaine des tannes.

Région	Zones	Superficie (km ²)	Population (habitants)	Densité (habt/km ²)	Nombre de villages
Fatick	(1) Fatick	-	9 995	-	1 commune ⁽²⁾
	A. Diakhao	523	35 953	69	8
	A. Fimela	1 115	25 392	23	46
	A. Tattaguine	598	60 225	101	42
	Foundiougne	-	2 686	-	1 commune
	Sokone	-	5 769	-	1 commune
	A. Djilor	943	32 967	35	30
	A. Niodior	948	15 125	16	5
	A. Toubacouta	1 068	48 477	45	8
Kaolack	Kaolack	-	106 899	-	1 commune
	A. Ndiédiène	558	37 319	62	20
	A. Gandiaye	493	31 965	65	11
	A. Ndoffane	789	43 051	55	12
Total	Fatick	5 195	236 589	48.17 (moyenne)	3 communes 139 villages
	Kaolack	1 840	219 234	60.67 (moyenne)	1 commune 43 villages

(1) A: arrondissement; (2) Commune administrative.

Les résultats du tableau 4 montrent que c'est dans les parties où les tannes et mangroves dominent telles que Fimela, Niodior et Djilor que la densité de population est plus faible. Cette faible densité est due à un phénomène de dépeuplement par des migrations à cause des conséquences atroces de la dégradation des terres de cultures (chap. 1). Ces migrations se traduisent par une concentration de la population au niveau de zones plus accueillantes telles que Tattaguine et Toubacouta qui recevraient, respectivement, les émigrants des îles de l'arrondissement de Fimela et de l'arrondissement de Niodior.

3.4 Activités économiques

Les activités économiques de la population sont principalement l'agriculture et l'élevage et secondairement le reboisement la pêche et l'exploitation du sel.

3.4.1 Agriculture

L'agriculture est surtout pratiquée sur les terres du glacis de raccordement, des bordures des terrasses moyennes et du plateau situé à l'intérieur de la zone. Elle est surtout développée dans la zone entre Tattaguine-Fimela et Faoye (fig. 8). Les principales cultures pratiquées sont l'arachide et le mil sur le plateau. Le sorgho et le riz, anciennement cultivés dans les terrasses argileuses et dépressions sont en plein recul à cause de la progression des tannes.

Dans certaines vallées telles que Gandiaye, Keur Alfa et Tattaguine, les cultures maraichères (melons, pastèques et courgettes) sont encore possibles, grâce à l'eau douce de forage hydraulique (nappe aquifère) de Gandiaye et Tattaguine.

3.4.2 Reboisement

A la suite de la dégradation des formations naturelles forestières, pour satisfaire les besoins en bois de feu, une politique de reboisement a été mise en place. Depuis 1980 le reboisement a pris de l'importance dans la zone, mais il est limité aux terres du plateau continental. Actuellement un vaste programme de reboisement d'environ 100 ha/an est exécuté par le PRECOBA (Projet de reboisement de Fatick), sur les tannes du glacis de raccordement et de certaines terrasses moyennes.

3.4.3 Elevage

L'élevage constitue une des activités les plus importantes dans le domaine des tannes. Il concerne le gros bétail (bovin) et les petits ruminants (ovins et caprins). Les enquêtes que nous avons menées dans les trois zones cartographiées (fig. 8) dans le cadre du projet UNSO (Daffé et Sadio, 1988) donnent environ 3000 bovins et 10 000 ovins et caprins pour une superficie de 13 500 ha et une population de 5000 habitants dans la zone I. Dans la zone II on dénombre environ 6000 bovins et près de 15 000 ovins et caprins pour une superficie de 15 000 ha et une population de 18 000 habitants. La zone III compte 2500 bovins et 4000 ovins et caprins pour 13 000 ha et 12 000 habitants. La forte concentration du bétail

dans la zone II s'explique par la grande extension des tannes qui forment des prairies favorables au pâturage. En effet, ces tannes constituent d'excellents terrains de parcours pour le bétail grâce à leur richesse en espèces pastorales et leur délaissement par l'agriculture. Le bétail séjourne en permanence dans ces tannes pendant l'hivernage, au moment où les terres du plateau sont occupées par les cultures.

3.4.4 *Pêche*

La pêche est actuellement très peu pratiquée dans le domaine des tannes à cause du tarissement des cours d'eau et de la disparition des poissons (chap. 1). Elle concerne le prélèvement des huîtres sur les racines des palétuviers et la prise des poissons dans les marigots et les fleuves. Cette activité procurait d'importants revenus aux pêcheurs, mais aujourd'hui les revenus parviennent difficilement à couvrir leurs besoins alimentaires.

3.4.5 *Exploitation et commercialisation du sel*

Ces activités, avant limitées à la consommation locale et pratiquées essentiellement par l'usine des salins de Kaolack et quelques villages, ont trouvé une large audience auprès des populations vivant dans les deux domaines. Elles sont bien développées dans la zone de Birkélane, Djilass et Fimela. Entre Djilass et Faoye l'assèchement des bras du marigot Fayoye a donné naissance à de véritables mines de sels dont l'exploitation (photo 4) est devenue une entreprise familiale, pratiquée presque 9 mois dans l'année.

Il s'est développé en même temps des circuits de commercialisation du sel qui est acheté à 25 FCFA*/Kg par des commerçants et des hommes d'affaires et revendu entre 50-100 FCFA dans les grandes villes de l'intérieur du pays et dans les pays voisins.

* 1 Franc français = 50 FCFA

CHAPITRE IV

CARACTERISTIQUES ET DISTRIBUTION DES SOLS DES TANNES

4.1 Introduction

Les sols du domaine fluvio-marin du Sine Saloum sont assez mal connus compte tenu du nombre limité des études qui leur ont été consacrées. La plupart des travaux portent sur des études géomorphologiques (Sall et al., 1975; Diop, 1978 et 1988; Thiam, 1986). Seules quelques études portent sur les sols sulfatés acides salés (Marius, 1979 et 1985). Toutes ces recherches sont consacrées presque exclusivement à l'estuaire.

Grâce aux recherches menées entre 1982 et 1988 nous avons pu caractériser et étudier le fonctionnement des sols du domaine des tannes (fig. 8) (Sadio, 1985, 1986 et 1987; Daffé et al., 1987 et 1988). Ce domaine couvre une superficie totale d'environ 140 000 ha.

Les sols se différencient principalement par la morphologie et les propriétés chimiques. Ces caractéristiques sont liées, aux facteurs pédoclimatiques et en particulier au régime hydrologique. La nature des matériaux différencie peu les sols dans la mesure où elle ne permet pas de définir des types pédogénétiques.

Les sols sont tous affectés, à des degrés divers, à la fois par la salinité et l'acidité.

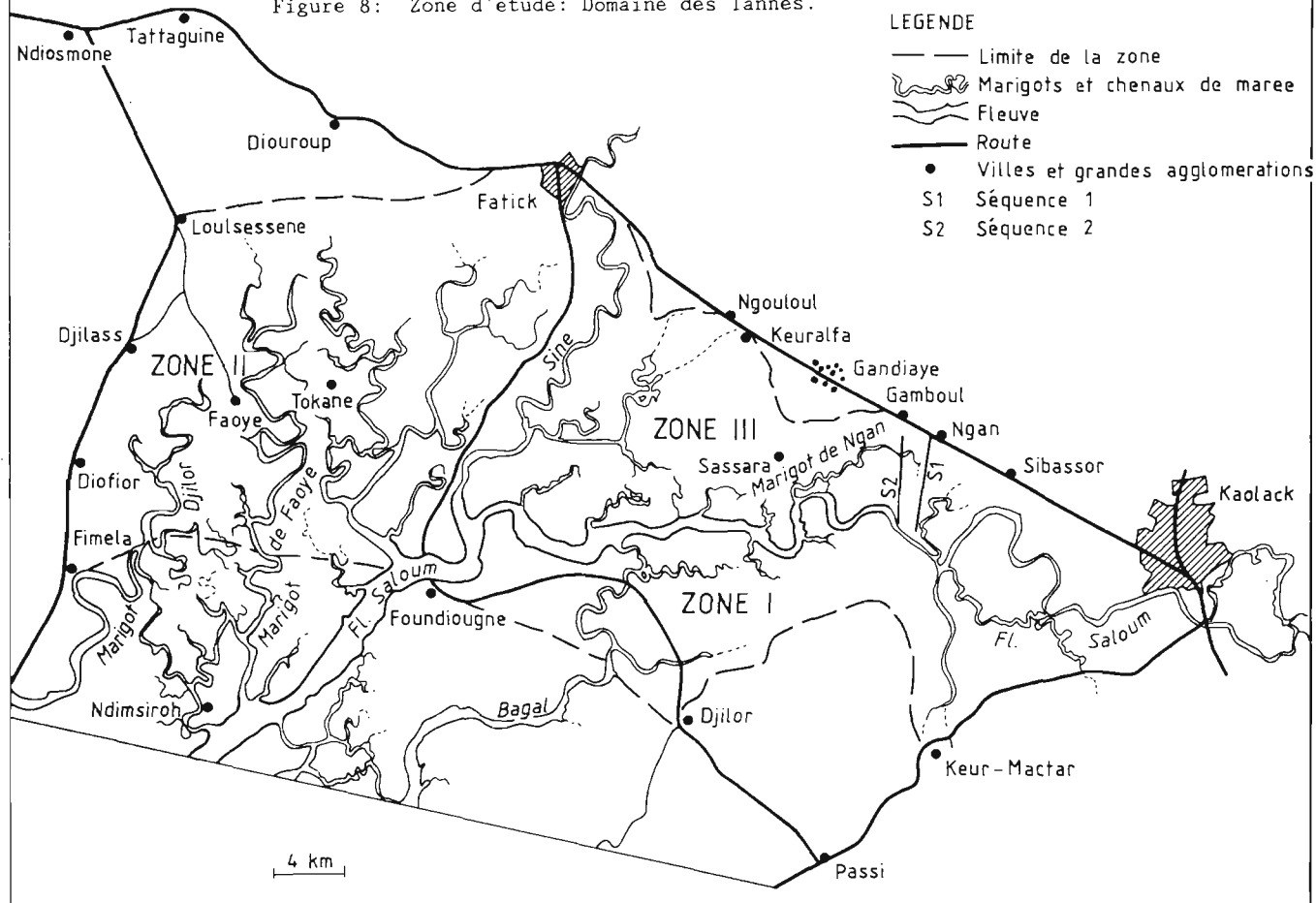
On distingue trois types de sols: sols salés sulfatés, sols sulfatés acides salés et sols sulfatés acides hydromorphes salés.

4.2 Méthodes d'études

4.2.1 Description des sols

Les travaux de prospection menés sur le terrain ont permis de décrire les caractéristiques morphologiques des principaux types de sols, d'étudier leur répartition dans le paysage et leurs facteurs de pédogenèse.

Figure 8: Zone d'étude: Domaine des Tannes.



Environ 500 profils ont été observés dont 300 dans le cadre du projet UNSO/SEN/83/X02 (Daffé et al., 1988). Plus de 200 profils ont été complètement décrits selon les normes recommandées par la FAO (1978) et la CPCS (1967), par horizon pédologique. Les couleurs ont été déterminées à l'aide du code universel MUNSELL.

La distribution spatiale des sols a fait l'objet de cartographie (Sadio, 1987; Daffé et al., 1988) et d'étude de séquences (An. I).

Ces travaux ont pour principal objectif une caractérisation complète des types de sols et la mise en évidence de l'importance et des types de contraintes de mise en valeur agricole, à travers le domaine des tannes.

4.2.2 Analyses physico-chimiques

Les analyses physiques portent sur la détermination, dans la fraction inférieure à 2 mm, des argiles ($<2 \mu\text{m}$), limons fins ($2-20 \mu\text{m}$), limons grossiers ($20-50 \mu\text{m}$), sables fins ($50-200 \mu\text{m}$) et sables grossiers ($200-2000 \mu\text{m}$) et sur les réserves hydriques théoriques (Paycheng, 1980).

Les analyses chimiques portent sur le pH, la matière organique, la salinité, les éléments majeurs des sels solubles et l'acidité (An. I).

4.2.3 Salinité

La salinité est mesurée par la conductivité électrique dans une solution filtrée de l'extrait 1/5*. En milieu acide la mesure de la C.E est influencée par les protons (H^+) dont la contribution est estimée à $32 \mu\text{S/cm}$ à pH 4,0. Mais dans des conditions de sursaturation, comme les nôtres, elle peut être considérée comme négligeable.

Un sol est dit salé lorsque la conductivité électrique sur pâte saturée est supérieure à 4 mS/cm (Richards, 1954; Chapman, 1966). Certains auteurs (Servant, 1975) fixent la limite à 7 mS/cm (25°C).

Les résultats ont permis de définir des classes de salinité dont les limites tiennent compte de la nature du matériau, à cause du fait que la quantité de sels retenus par un sol donné dépend de sa texture (Richards, 1954; Elgabaly, 1972a; Boulaine, 1979; Loyer et al., 1982).

* La conductivité électrique sur extrait au 1/5 sera désignée par C.E_s.

Partant du comportement de la végétation naturelle et des états de surface des sols (absence ou présence de végétation), nous avons défini les classes de salinité suivantes:

- Sols non salés: - sols à texture grossière, $C.E_s = < 0,5$ mS/cm,
 - sols à texture fine, $C.E_s = < 1,0$ mS/cm.
- Sols peu salés: - sols à texture grossière, $C.E_s = 0,5$ à $2,0$ mS/cm,
 - sols à texture fine, $C.E_s = 1,0$ à $3,0$ mS/cm,
- Sols moyennement salés - sols sableux, $C.E_s = > 2,0$ à $4,0$,
 - sols argileux, $C.E_s = > 3$ à $6,0$,
- Sols sursalés: - sols sableux, $C.E_s > 4,0$ mS/cm,
 - sols argileux, $C.E_s > 6,0$ mS/cm.

Cela correspond à des conductivités sur extrait saturé, respectivement, < 4 mS/cm, > 4 à 15 mS/cm, > 15 à 35 et > 35 mS/cm.

Le sol est classé en fonction de la conductivité électrique de l'horizon le plus salé dans les 80 premiers centimètres. Cette profondeur est choisie en raison du fait que les principaux processus de pédogenèse ont lieu à ce niveau et c'est aussi la zone exploitée par les racines des plantes (Chap. 7).

Remarque: La différence des limites des classes de C.E. dans les deux types de texture, s'explique par le fait que l'effet de la salinité est plus net en surface dans les sols sableux à cause des faibles réserves hydriques.

Les éléments majeurs dosés dans la solution filtrée de l'extrait 1/5 concernent: Cl^- , $SO_4^{=}$, HCO_3^- , $CO_3^{=}$, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ et Na^+ .

4.2.4 Analyse chimique totale et minéralogie

La composition chimique totale a été analysée sur certains échantillons, après dissolution des minéraux par attaque triacide ($H_2SO_4 + HNO_3 + HCl$) et porte sur les éléments oxydes Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , MnO_2 , CaO , MgO et K_2O (An. I).

Grâce à la diffraction des rayons X, les minéraux argileux et les sels minéraux ont été déterminés. Les premiers ont été réalisés sur la fraction

argileuse ($< 2 \mu\text{m}$) et les seconds sur des croutes de sels prélevées de la surface du sol et également sur la fraction du sol tamisé à 2 mm (An. I).

4.3 Caractéristiques des types de sols

4.3.1 Les sols salés sulfatés

4.3.1.1 Généralités

Les sols salés sulfatés se rencontrent dans les zones de terrasses hautes et moyennes engorgées d'eau de pluie pendant l'hivernage. Dans certains endroits ils sont inondés pendant les hautes marées par les eaux salées du fleuve et de ses affluents.

Ils sont dits sulfatés à cause de leurs teneurs élevées en sulfates, supérieures à celles des sols salés normaux, comme ceux de la vallée du fleuve Sénégal (tab. 4.5, An. III). La présence des sulfates ne se traduit pas par une acidité, celle-ci étant totalement neutralisée par les bases échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+}) du sol.

Leurs caractéristiques morphologiques et chimiques sont dominées par la présence de sels solubles qui se manifestent en surface soit par une accumulation sous forme de croutes, pellicules fines, efflorescences ou de poudres, soit seulement par la présence d'une végétation halophile.

Selon le niveau de salinité, ils constituent soit des tannes nus, soit des tannes localement ou totalement couverts par une végétation halophile herbacée ou arbustive (tannes à végétation) (chap. 2).

On distingue: des sols peu salés, des sols moyennement salés et des sols sursalés.

1. Les sols peu salés:

Ce sont des sols dont la C.E_s est comprise entre 0,5 et 2 mS/cm pour les sols sableux et entre 1 et 3 mS/cm pour les sols argileux (§ 4.2.3).

Ils ne présentent aucune caractéristique morphologique particulière liée aux sels et se distinguent des autres par l'absence d'accumulation de sels en surface ou dans le profil. L'influence des sels ne se remarque que

par la présence d'une végétation halophile arbustive ou herbacée. Ils se rencontrent sur les terrasses hautes à *Acacia seyal*, sur les terrasses moyennes à végétation herbacée dense et sur le glacis de raccordement couvert par une végétation d'*Acacia seyal* ou de *Combretum glutinosum*.

2. Les sols moyennement salés:

Ce sont des sols caractérisés par une salinité élevée dont la C.E_s est comprise entre 2 et 4 mS/cm pour les sols sableux et entre 3 et 6 mS/cm pour les sols à texture fine. La salinité est due soit aux inondations par les cours d'eau pendant l'hivernage, soit par l'influence de nappes phréatiques salées peu profondes, situées à moins de 200 cm.

Ils se rencontrent dans les tannes localement couverts (chap. 2) des terrasses moyennes inondables pendant l'hivernage par des eaux salées. La végétation est souvent herbacée ou arbustive mais dégradée.

3. Les sols sursalés:

Ils se caractérisent par une C.E_s supérieure à 4 mS/cm pour les sols sableux et 6 mS/cm pour les sols à texture fine. La sursalure est due essentiellement à l'inondation par les eaux sursalées du fleuve et des marigots. Leurs principales caractéristiques sont l'accumulation plus importante des sels en surface et l'absence de végétation. Ils constituent les tannes nus (chap. 2)

Ces sols se rencontrent dans des terrasses hautes et moyennes à coquilles d'huîtres anciennement colonisées par une végétation d'*Acacia seyal* qui a disparu à cause de la sursalure. Ils présentent des nappes phréatiques généralement peu profondes et situées à moins de 170 cm.

4.3.1.2 Caractéristiques morphologiques

La morphologie du profil est très variée, influencée par la nature du matériau. On distingue trois types de profil textural: profil homogène à matériaux grossiers ou fins (fig. 9a et b), profil complexe à matériaux grossiers et fins superposés (fig. 9c et d) et profil complexe à matériaux coquilliers (fig. 9e). Le profil est affecté par la présence de taches

d'hydromorphie.

Dans les sols des terrasses hautes à *Combretum glutinosum* et du glacis de raccordement, le profil pédologique est caractérisé par la présence de taches d'oxydation de fer de couleur brun-ocre (10YR 4/3) et ocre-rouille (10YR 3/4) dans les horizons Ag et ABg et ocre-jaunâtres (10YR 4/4 et 5/4) dans les horizons Bg. Les horizons B sont souvent marqués par des inclusions sableuses gris-claires (2,5Y et 10YR 7/1) dues probablement à la réduction et au lessivage des oxydes de fer par la circulation de l'eau dans le profil. Dans les horizons B/C et C on trouve parfois des taches grises (2,5Y et 10YR 5/1) ou gris-bleutées (5Y 5/1).

Dans les sols des terrasses hautes occupées par *Acacia seyal*, le profil est caractérisé par des horizons Bg de couleur gris-beige (10YR 7/2) à tendance blanchie (10YR 8/1) avec des taches brun-olives (2,5Y 4/4) assez nombreuses et des taches gris-noires (10YR 4/1). Ils présentent des précipités blanchâtres (2,5Y 8/2) et de petits débris coquilliers entre 30 et 80 cm de profondeur et un horizon BgCj de couleur souvent gris-beige (2,5Y 7/2) caractérisé par la présence de taches jaune-olives (2,5Y 6/6), jaune-ocres (10YR 6/6) et grises (10YR 5/1).

Dans les sols des terrasses moyennes le profil présente de nombreuses veines noires (10YR 3/1) verticales entre 80 et 120 cm, dues probablement à la présence d'anciennes racines de végétation disparue à cause de la sursalure.

Les descriptions des profils types figurent à l'annexe II.

4.3.1.3 Caractéristiques physiques

Les tableaux 4.1 à 4.4 (An. III) présentent les caractéristiques granulométriques des types de sols à matériaux homogènes et complexes.

Les sols à matériaux homogènes (fig. 9.a et b) sont caractérisés par une texture peu différente d'un horizon à l'autre. Dans les sols sableux les teneurs en sables fins varient entre 42 et 70%. Dans les sols à texture fine la somme des argiles et limons fins est comprise entre 60 et 81% (fig. 9b).

Les sols à matériaux complexes fins et grossiers (fig. 9c et d) ou coquilliers (fig. 9e) sont caractérisés par des profils à discontinuité granulométrique, traduite par une augmentation ou diminution brusque en

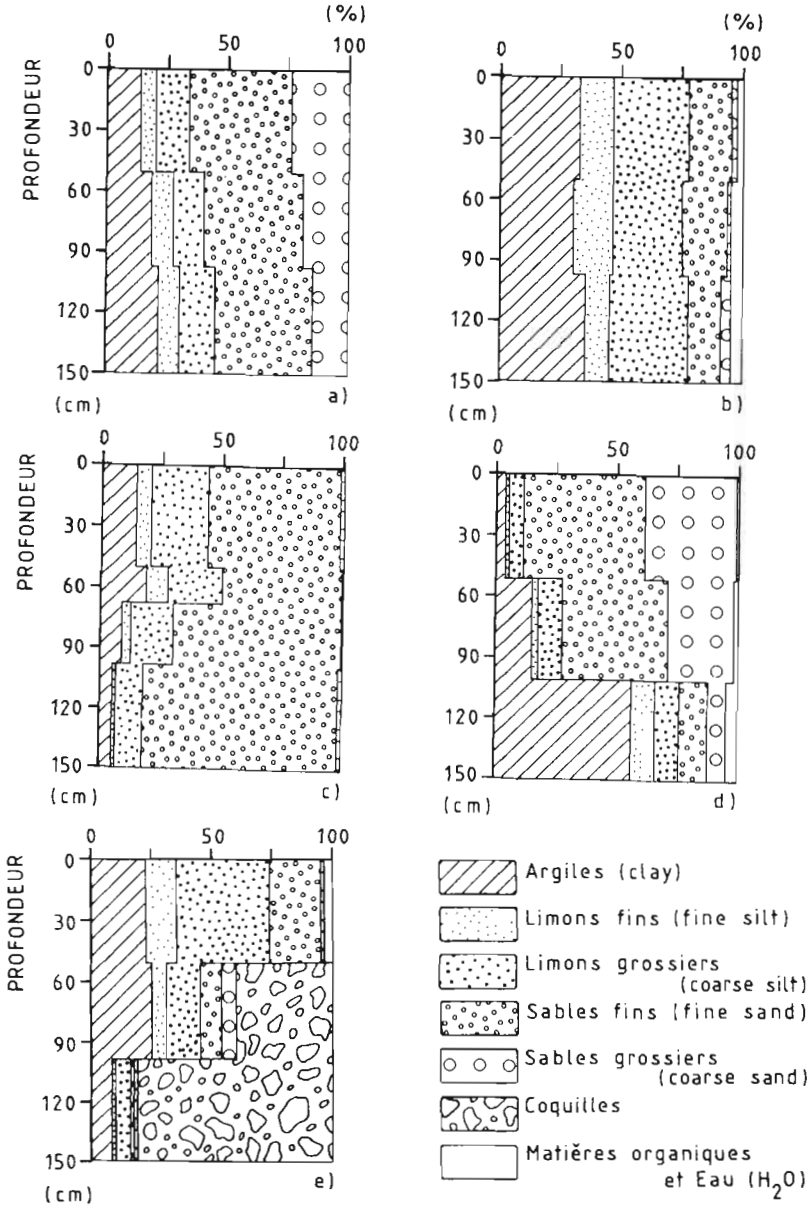


Figure 9: Variation granulométrique en fonction de la profondeur (cm) dans quelques profils types de sols salés sulfatés. a: matériaux homogènes grossiers; b: matériaux homogènes fins; c: matériaux complexes sablo-limoneux sur sableux; d: matériaux complexes sableux sur argileux; e: matériaux coquilliers.

profondeur.

Dans les sols à matériaux coquilliers, certains horizons peuvent contenir entre 30 et 60% de coquilles altérées ou des coquilles entières avec au moins 80%.

Les sols à texture sableuse présentent une porosité élevée et une bonne perméabilité qui permet aux eaux des pluies de s'infiltrer dans le profil et par conséquent de provoquer un lessivage des sels en profondeur. Cependant ils sont sujets à des déficits hydriques pendant la saison sèche à cause de leur faible capacité de rétention en eau ($< 20\%$ sur 100 cm). Ceux à matériaux fins possèdent des propriétés physiques moyennes caractérisées par une porosité plus faible, mais ont une grande capacité de rétention en eau. Leurs réserves hydriques sont supérieures à 30% sur 100 cm. Ils sont moins maturés physiquement que les sols sableux.

4.3.1.4 Caractéristiques chimiques

Les résultats des analyses chimiques révèlent des différences significatives entre les types de sols.

1. pH

La présence de calcium (Ca^{2+}) et de carbonates (CO_3^{--}) en quantité appréciable, provenant de la dissolution des coquilles, neutralise l'acidité produite lors de l'oxydation de la pyrite des sédiments. Ceci maintient le pH à des valeurs supérieures à 5.

On distingue des sols:

- pH peu acides à neutres, compris entre 5,0 et 6,5. Ce groupe est constitué essentiellement par les sols à matériaux d'ensemble fins et grossiers homogènes (fig. 10a et b). La différence entre pH eau et pH KCl semble révéler un mauvais pouvoir tampon dans les horizons supérieurs des sols peu salés. Le pH varie sensiblement avec la profondeur, surtout dans les sols polyphasés où on note une diminution brutale du pH à partir d'une certaine profondeur. Cette variation brutale serait probablement due à la différence des matériaux (SS.40).

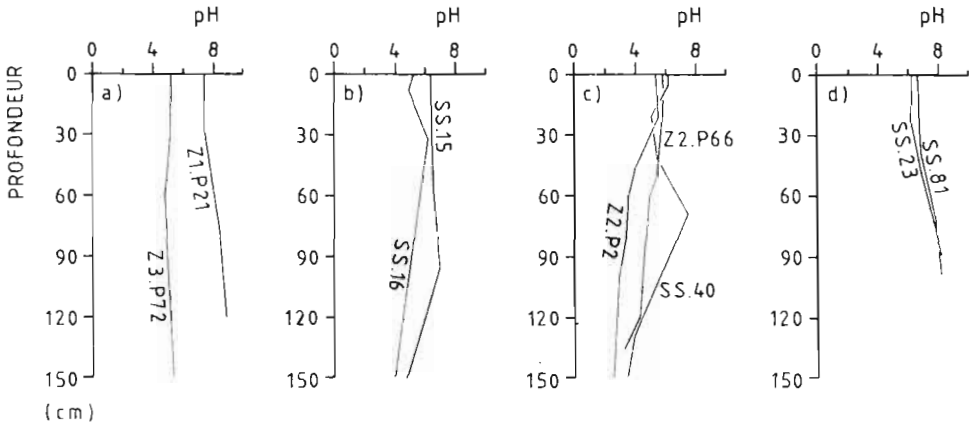


Figure 10: Variation du pH (Eau) en fonction du matériau et de la profondeur dans les sols salés sulfatés. a: matériaux homogènes grossiers; b: matériaux homogènes fins; c: matériaux complexes fins et grossiers; d: matériaux grossiers.

- pH neutres à peu alcalins, compris entre 6,0 et 8,2. Ces pH se rencontrent surtout dans les sols à matériaux coquilliers et dans certains matériaux fins carbonatés (fig. 10c et d). On constate une augmentation des pH avec la profondeur, due probablement à l'influence des débris de coquilles dont la dissolution entraîne une neutralisation du milieu chimique. La grande différence entre le pH eau et le pH KCl montre qu'ils sont mal tamponnés (tab. 4.1 à 4.4, An. III).

2. Matière organique

La matière organique varie en fonction du type de végétation qui colonise ces sols. Elle est plus abondante dans les sols sous forêt d'Acacia seyal où le taux de carbone peut atteindre 5% avec près de 1,3 à 3% de carbone et 0,2% d'azote (tab. 4.1 à 4.4, An. III). Dans les sols à végétation herbacée les valeurs sont inférieures à 0,5%.

Les rapports C/N indiquent une bonne minéralisation de la matière organique et sont inférieurs à 15.

3. Salinité

Les courbes des figures 11a-e révèlent une augmentation de la salinité en profondeur, due généralement à l'influence de nappes phréatiques peu profondes. Les sols sableux sont généralement dessalés dans la partie supérieure avec une C.E_s inférieure à 1 mS/cm.

La composition ionique révèle dans tous les sols une dominance des anions par les chlorures (Cl⁻) avec plus de 60% et des cations par le sodium (Na⁺) représentant 63 à 95% (tab. 4.1 à 4.4, An. III).

4.3.2 *Les sols sulfatés acides salés*

4.3.2.1 Généralités

Les sols sulfatés acides salés sont caractérisés par la présence de soufre. Selon la nature de celui-ci on distingue des sols potentiellement sulfatés acides et des sols sulfatés acides. Ils sont tous affectés, à des degrés variables, par la salinité.

1. Sols Potentiellement sulfatés acides:

Ils sont caractérisés par la présence de soufre sous forme essentiellement de pyrite. Le profil est peu différencié et présente des horizons à matériaux tourbeux, fibreux ou à trainées noires.

Ils se rencontrent généralement dans les tannes vasières des zones tidales et intertidales inondées quotidiennement par les marées. Ils ne sont plus associés à la mangrove, celle-ci ayant disparu à cause de la sursalure et des déficits hydrologiques. Ils sont saturés d'eau sursalée à partir de 10 à 20 cm de profondeur au moins et non maturés physiquement.

2. Sols Sulfatés acides à Jarosite:

Ce sont des sols dont le profil est fortement marqué par l'oxydation du soufre qui se traduit par la présence de taches de jarosite de couleurs variées situées dans un fond jaune. En fonction de la couleur des taches, on différencie:

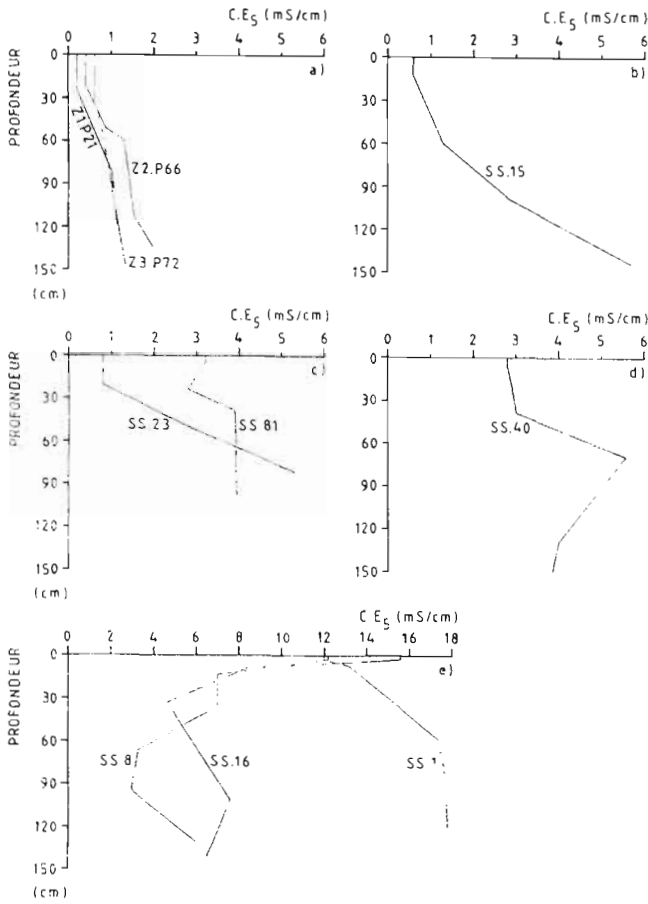


Figure 11: Variation de la salinité en fonction des matériaux et de la profondeur (C.E.s mS/cm) dans les sols salés sulfatés.
 a: sols peu salés sur matériaux sab-
 leux; b: sols peu salés sur
 matériaux fins; c: sols peu salés (SS.23) et moyennement salés
 (SS.81) sur matériaux coquilliers; d: sols moyennement salés
 sur matériaux limono-sableux; e: sols sursalés sur matériaux
 fins homogènes (SS.8 et SS.16) et coquilliers (SS.1).

- des sols à jarosite jeune: caractérisés par des taches de couleur jaune pâle (Hue 2,5Y, Value 7 et 8, chroma 4, 6 et 8);

- des sols à jarosite évoluée: caractérisés par la présence de taches de couleurs variées jaunâtres, ocre-rougeâtres et rouges ou d'oxydes de fer rouges (Hue: 10YR, 7,5YR, 5YR, 2,5YR et 10R; Value et chroma > 4). On distingue des sols à taches jaunâtres, des sols à taches ocre-rougeâtres et des sols rhodiques. Ils sont caractéristiques des tannes évolués. Ils ont été également rencontrés en Casamance et en Gambie (Aubrun, 1988; Marius, 1985).

Les premiers se rencontrent dans les terrasses basses inondables en périodes de hautes eaux et sont, tous affectés par une salinité dont l'importance dépend de l'influence des marées et de la dynamique de la nappe phréatique. Ils sont sans végétation. Les autres sont caractéristiques des tannes évolués des terrasses moyennes et occupent des unités morphologiques très variées, allant des tannes nus aux tannes à végétation localement arbustive. Les principales espèces végétales que l'on y rencontre sont *Borreria verticillata*, *Phyloxerus vermicularis*, *Sesuvium portulacastrum*, *Conocarpus erectus*, *Cyperus esculentus*, *Heleocharis sp.* et *Combretum glutinosum*.

4.3.2.2 Caractéristiques morphologiques

Dans les sols potentiellement sulfatés acides le profil est peu varié et caractérisé par des horizons Ar tourbeux ou fibreux de couleur gris-olive (5Y 6/1), gris-noire (10YR 3/1 ou 2,5Y N4/0) à partir de 20 ou 30 cm. Ils présentent souvent en profondeur, entre 120-150 cm un horizon Cr, de couleur gris-bleutée (5Y 6/2) comportant des trainées noires (10YR 3/1-3) et des racines plus ou moins pourries, orientées verticalement. Les matériaux ne sont pas maturés.

Dans les sols sulfatés acides à jarosite jeune, le profil est caractérisé par la présence d'horizons Bj à taches jaunes pâles (2,5Y 7-8/4-8) dominant dans les 70-80 premiers centimètres et un horizon BCr de couleur gris-noire (10YR 3/2 ou 2,5Y N4/0) ou gris-bleutée (5Y 6/2) à trainées noires dispersées dans la matrice et à taches jaunes pâles localisées dans les chenaux racinaires. Il présente une mince (0,5 à 1 cm) couche de sels en surface.

Les sols à jarosite évoluée ont un profil plus mûré et mieux structuré que celui des précédents. Ils sont caractérisés par des horizons B à taches variées:

- jaunâtres (10YR 7-8/4-8), dominant entre 40 et 80 cm de profondeur.
- ocre-rougeâtres (7,5YR et 5YR 5-6/6-8) et brun-roses (5YR 4/4), dominant entre 30 et 70 cm. Le profil est nettement plus développé que celui des sols à taches jaunâtres, surtout dans la partie supérieure. Certains sols à texture fine présentent entre 70 et 80 cm des horizons de couleur brun ou gris-marron¹ (5YR ou 7,5YR 4/2-3) à consistance molle².

- rouges (>50%) et/ou accumulation d'oxydes de fer de couleur rouge (2,5YR et 10R 5/8). Ils présentent des concrétions ferrugineuses de couleur ocre-rouille (10YR 3-4/3-4 et 7,5YR 4/4) dans les 50 premiers centimètres, généralement depuis la surface et des horizons BCg de couleur gris-marron (7,5YR ou 5YR 4/2-3) à consistance molle, plus ou moins tachés entre 80-100 cm.

Les sols sursalés et moyennement salés présentent dans la partie supérieure une couche de sels plus ou moins épaisse (horizon Az), à structure poudreuse, pelliculaire ou en croutes fines. La description détaillée de quelques profils types figure à l'annexe II.

4.3.2.3 Caractéristiques physiques

Les résultats des tableaux 4.6 à 4.10 (An. III) révèlent une grande hétérogénéité des matériaux des sols. On distingue des sols à matériaux homogènes sur tout le profil et des sols à matériaux complexes caractérisés par une discontinuité granulométrique, comme l'illustrent les figures 9a à 9e des sols salés sulfatés.

Dans la plupart des sols la texture est dominée par les sables fins ou par les limons grossiers dont les teneurs peuvent atteindre respectivement 73% et 55%.

Les matériaux sableux caractérisent les sols à taches ocre-rougeâtres des terrasses hautes, de la partie inférieure du glaciaire de raccordement et

¹ Cette couleur caractéristique de certains sols sulfatés acides évolués des tannes est appelée par Marius (1985) "Couleur purée de marron".

² Cette consistance molle correspond à celle que Marius (1985) appelle "consistance de beurre".

des terrasses moyennes. Les teneurs en sables varient entre 56% et 88% avec 38 à 73% de fins (Z2.P36 et Z2.P1).

Les matériaux fins se rencontrent dans les sols à horizons rhodiques avec des teneurs en argiles de 37% à 48% (SS.56) et en limons de 42% à 58% (SS.18). Certains sols de cuvettes et dépressions plus ou moins ouvertes ont une texture plus fine avec environ 62% des fractions des argiles. Les sols à jarosite jeune et à taches jaunâtres sont dominés par la présence de limons.

Les matériaux complexes se rencontrent surtout dans les sols potentiellement sulfatés acides, les sols à taches jaunâtres et les sols à taches ocre-rougeâtres. Les premiers sont caractérisés par un matériau à texture sablo-limoneuse dans la partie supérieure et limoneuse ou limono-tourbeuse en profondeur (S1.P23 et S2.P31), alors que les seconds sont généralement limoneux à limono-sableux dans la partie supérieure et argileux en profondeur (SS.24).

Les propriétés physiques sont mauvaises dans les sols à texture fine à cause de la faible porosité qui empêche le drainage du profil. Ces propriétés sont en partie responsables de la saturation en eau de certains profils des sols à jarosite jeune, à taches jaunâtres et horizons rhodiques. Dans certains sols limoneux tels que les sols à taches ocre-rougeâtres (SS.57) et horizons rhodiques à structure détruite en surface (SS.59), la perméabilité est souvent limitée par la présence de pellicules de battance qui se forment dès les premières pluies. Ces pellicules bouchent la porosité de l'horizon de surface. Les réserves hydriques utiles de ces sols sont importantes, estimées à environ 48% sur 100 cm d'épaisseur.

Les sols à texture moyenne à grossière sablo-limoneuse à sableuse sont caractérisés par de bonnes propriétés physiques dues à une porosité élevée. Grâce à leur forte perméabilité ils sont bien dessalés par les eaux de pluies qui lessivent des sels dans la partie supérieure du profil pendant l'hivernage. Ceci maintient la salinité à un niveau assez bas même pendant la saison sèche, comme le révèlent les profils Z1.P49, Z2.P1, Z2.P36 et Z3.P18 (fig. 20a et b). Mais les réserves hydriques sont généralement faibles et inférieures à 30% sur 100 cm d'épaisseur.

4.3.2.4 Caractéristiques chimiques

1. pH

Les sols potentiellement sulfatés acides se distinguent des autres par leurs pH in situ neutres à peu acides compris entre 6,0 et 7,6 (tab. 5) qui chutent après séchage à l'air à des valeurs inférieures à 3,0 notamment dans les horizons profonds (fig. 12a et b). Ils sont caractérisés par des valeurs négatives de E_H dans les tannes inondés en permanence (S2.TV). Dans les tannes qui ne sont inondés que périodiquement (S2.Ti), le E_H est positif dans la partie supérieure du profil et négatif à partir de 70 cm

Tableau 5: pH et E_H (mVolts) de quelques sols potentiellement sulfatés acides (S2.Ti et S2.Tv) et sulfatés acides à jarosite (S2.Tn).

Echantillons	Profondeur (cm)	pH (in situ)	E_H (mvolt)
S2.Tn (Tanne nu)	5	5,4	445
	20	4,3	464
	40	3,8	518
	60	3,6	513
	80	3,9	536
	100	3,8	351
	156	4,2	382
S2.Ti (Tanne inondé)	5	6,9	238
	20	7,1	304
	40	6,9	321
	60	6,6	353
	70	6,5	-189
	80	6,5	-248
	90	6,5	-199
	100	6,6	-211
	110	6,6	-211
	120	7,0	-212
S2.TV (Tanne vasière)	5	7,4	-130
	10	7	-212
	30	6,7	-213
	50	6,7	-217
	70	6,7	-224
	90	6,7	-233
	110	6,7	-230
	130	6,7	-229

de profondeur, correspondant à la limite de la nappe phréatique qui sature le milieu en eau.

Les sols sulfatés acides à jarosite jeune et à jarosite évoluée révèlent une forte acidité traduite par des pH très bas, généralement inférieurs à 4,5 dans la majeure partie du profil (tab. 6 à 10, An. III). Seuls les horizons de surface ont des pH supérieurs à 5. Ce sont les sols à jarosite jeune et à horizons rhodiques à texture fine qui paraissent les plus acides, avec des pH inférieurs à 4 dans la plus majeure partie du profil, parfois même depuis la surface (fig. 13 et 16).

Ces sols présentent des quantités importantes de soufre total avec des teneurs de 0,21 à 3,9% et de fer dont les teneurs varient entre 1 et 9% (fig. 13b et c, 16b et c).

Malgré leurs faibles pH, ces sols sont très pauvres en aluminium échangeable, avec des teneurs inférieures à 1 meq/100g. Les fortes teneurs des horizons profonds (SS.24, SS.57, SS.64 et SS.65) seraient dues à la libération de l'aluminium lors de l'oxydation de la pyrite au laboratoire.

Dans la plupart des sols le milieu chimique est assez bien tamponné, caractérisé par des différences de pH Eau et KCl N faibles, généralement inférieures à 1 unité pH, sauf dans le cas des sols sableux à taches ocre-rougeâtres où elles peuvent atteindre 1,5 unités pH.

2. Matière organique

Les résultats (tab. 6 à 10, An. III) mettent en évidence la pauvreté en matière organique de la plupart des sols. Les taux de carbone sont comparables à ceux de la plupart des sols salés sulfatés.

Cependant certains sols limono-argileux et argileux à jarosite jeune, à horizons rhodiques et à taches ocre-rougeâtres présentent des teneurs assez élevées surtout dans les horizons supérieurs, de l'ordre de 1,5 à 2,0% de carbone, soit 2,6 à 3,4 % de matière organique totale. Mais contrairement à celle des sols salés sulfatés, cette matière organique est peu minéralisée, comme l'indiquent les rapports C/N élevés, compris entre 25 et 48. Le déficit en azote serait probablement dû à l'excès de sels et l'engorgement du profil qui bloqueraient la minéralisation. Les mêmes résultats ont été observés sur les sols de tannes et des vasières à mangroves en Casamance par Marius (1985) et Aubrun (1988).

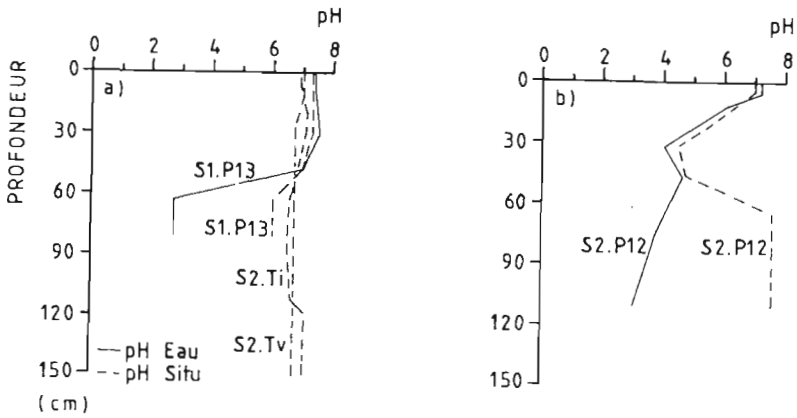
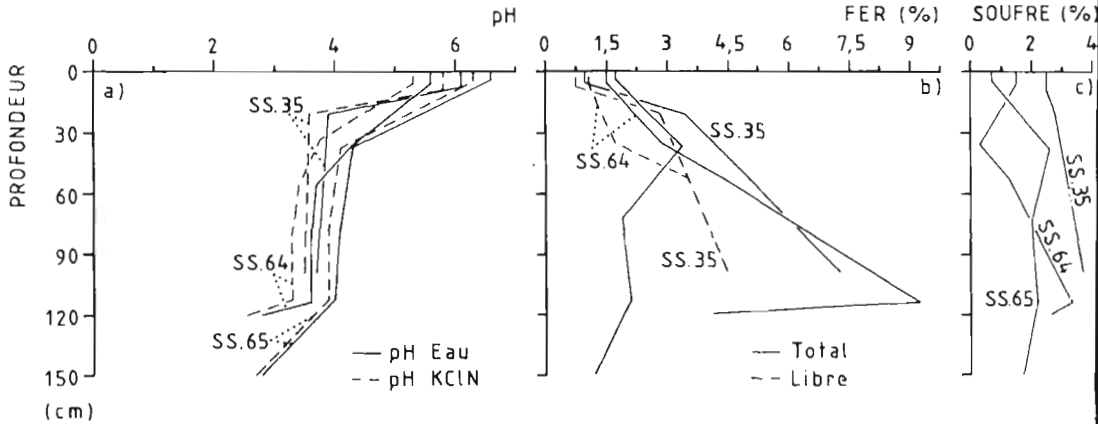


Figure 12: Variation du pH en fonction de la profondeur dans quelques sols potentiellement sulfatés acides sursalés. a: sols à horizons tourbeux; b: sols sur matériaux complexes.



SS.35: Sol Limoneux
 SS.64: Sol complexe Limons/Argiles
 SS.65: Sol Limono - Sableux

Figure 13: Variation du pH, du fer (%) et du soufre total (%) en fonction de la profondeur dans quelques sols sulfatés acides sursalés à jarosite jeune.

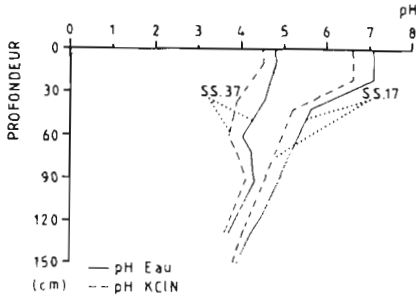


Figure 14: Variation du pH dans quelques sols sulfatés acides à taches jaunâtres

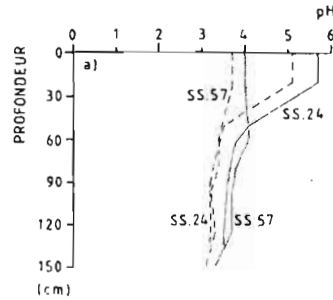


Figure 15a: Variation du pH dans quelques sols sulfatés à taches ocre-rougeâtres.

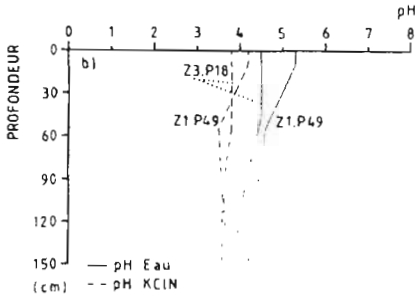


Figure 15b: Sols sur matériaux sablo-limoneux.

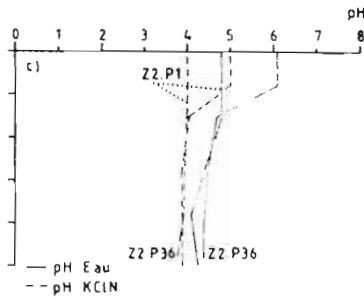


Figure 15c: Sols sur matériaux sableux.

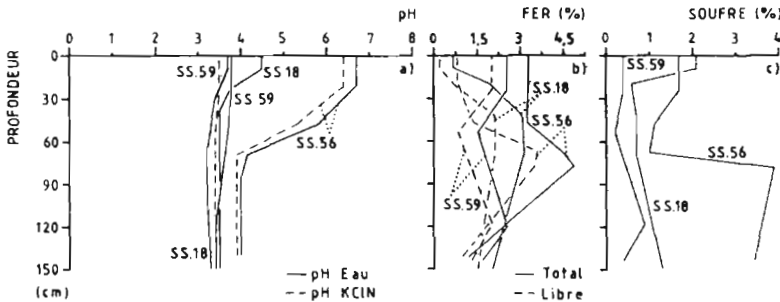


Figure 16: Variation du pH et des teneurs en fer et soufre dans quelques sols sulfatés acides à taches et horizons rhodiques.

3. La salinité

Les résultats de C.E_s des figures 17 à 21 montrent une grande variabilité de la salinité entre les sols et entre horizons d'un même profil.

Les sols potentiellement sulfatés acides et à jarosite jeune sont tous sursalés avec des C.E_s de 10 à 87 mS/cm. Ce sont les horizons de surface et de profondeur qui sont les plus salés. Cette très forte salinité est due, d'une part à l'inondation par les eaux des marigots, et d'autre part aux nappes phréatiques hypersalées, situées vers 80-120 cm et dont la conductivité électrique est souvent comprise entre 100 et 220 mS/cm.

Par contre les sols à taches jaunâtres et les sols à horizons rhodiques sont caractérisés par une salinité très variable d'un sol à l'autre, avec des C.E_s comprises entre 6 et 58 mS/cm (fig. 19 et 21). Ils sont donc, généralement sursalés, avec des C.E_s comprises entre 4 et 6 mS/cm (SS.37 et SS.59) ou avec des C.E_s de 10 à 58 mS/cm (SS.17, SS.18 et SS.56).

La variabilité de la salinité s'explique par la large distribution spatiale de ces sols. Les sols sursalés restent accessibles aux eaux hypersalées des cours d'eau pendant les marées exceptionnelles, alors que les sols moyennement salés ne sont inondés que pendant l'hivernage par de l'eau salée diluée par les pluies. Dans la plupart des profils la salinité est plus faible entre 15 et 50 cm.

Quant aux sols à taches ocre-rougeâtres, ils sont généralement peu salés grâce à leur situation topographique plus haute (terrasses hautes et glacis de raccordement) qui favorise le lessivage des sels. Certains peuvent avoir des C.E_s de l'ordre de 4 mS/cm et même parfois 8 mS/cm dans la partie supérieure (fig. 20). Ils rappellent les sols sableux des terrasses hautes des tannes de la Casamance décrits par Aubrun (1988). L'augmentation en profondeur de la salinité est due à l'influence de la nappe phréatique salée peu profonde. Par exemple dans le profil Z1.P49 la nappe est située vers 150 cm et a une conductivité électrique de 71,2 mS/cm.

4. Les sels solubles

Le bilan ionique est dominé par les chlorures (Cl⁻) avec 60 à 83% de la somme des anions et le sodium (Na⁺) avec 67 à 90% de la somme des cations. La variation de ces deux éléments est liée à celle de la salinité.

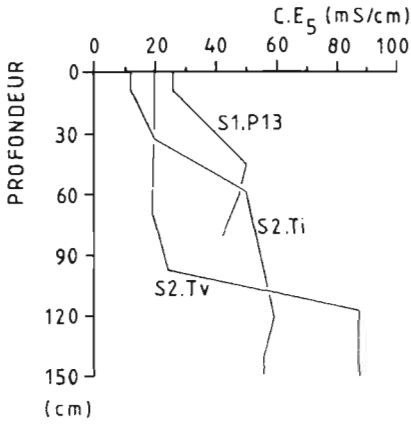


Figure 17: Variation de la salinité dans quelques sols potentiellement sulfatés acides sursalés.

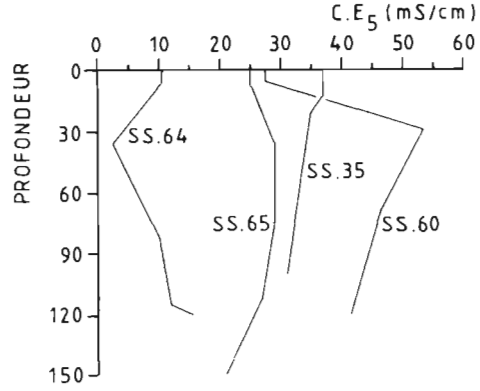


Figure 18: Variation de la salinité dans quelques sols sulfatés acides sursalés à jarosite jeune.

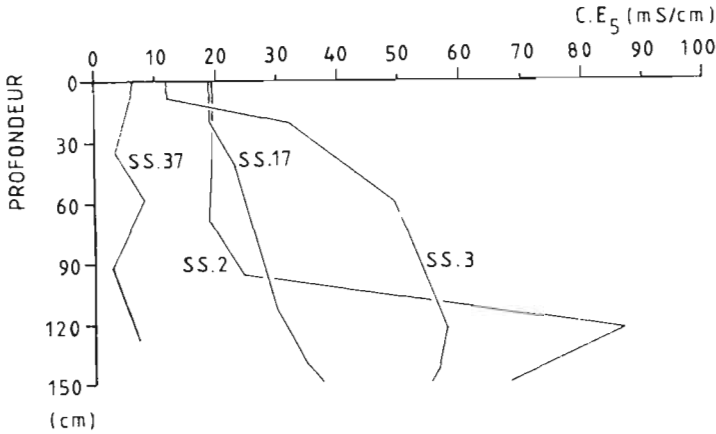


Figure 19: Variation de la salinité dans quelques sols sulfatés sursalés acides à taches jaunâtres.

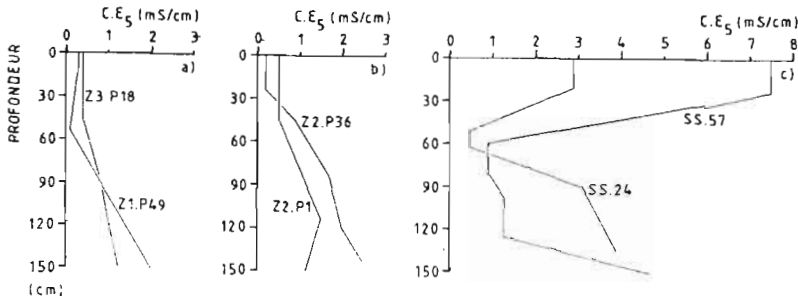


Figure 20: Variation de la salinité dans quelques sols sulfatés acides salés à taches ocre-rougeâtres. a: sols peu salés sur matériaux sablo-limoneux; b: sols peu salés sur matériaux sableux; c: sols moyennement salés sur matériaux limono-sableux (SS.24) et sol sursalé sur matériaux limoneux (SS.57).

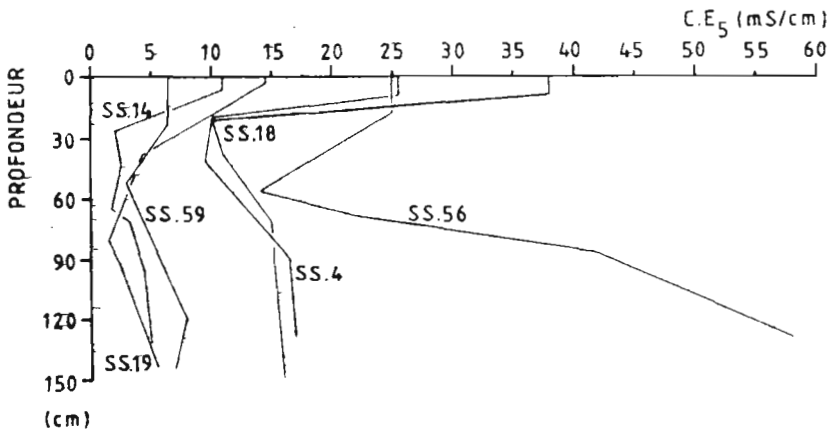


Figure 21: Variation de la salinité dans quelques sols sulfatés acides salés à taches et horizons rhodiques: moyennement salés sur matériaux limoneux à limono-sableux (SS.14 et SS.59) et sur-salés sur matériaux limoneux (SS.4, SS.18, SS.19 et SS.56).

Les concentrations en Cl^- varient entre 12 et 37 meq/100g dans les sols moyennement salés et entre 53 et 368 meq/100g dans les sols sursalés. Celles du sodium (Na^+) varient entre 11 à 30 meq/100g et 42 à 351 meq/100g, respectivement (tab. 4.6 à 4.10, An. III).

Les sulfates (SO_4^{2-}), le calcium (Ca^{2+}) et le potassium (K^+) sont très variables d'un horizon à l'autre. Les teneurs en magnésium (Mg^{2+}) sont relativement plus importantes en surface qu'en profondeur. HCO_3^- est faible dans l'ensemble des sols.

La comparaison de ces éléments entre eux permet de classer les anions dans l'ordre $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ et les cations dans l'ordre $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}, \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$.

4.3.2.5 Minéralogie

La différence géochimique (tab. 4.18 et 4.19, An. III) de ces sols se manifeste au niveau minéralogique par la présence de minéraux argileux et de sels cristallisés caractéristiques.

La diffraction de rayons X réalisée sur la fraction argileuse ($< 2\mu\text{m}$) et sur échantillons bruts (poudre) révèlent la présence de quartz, smectites et kaolinite dans tous les échantillons.

Le quartz et la kaolinite sont fortement présents dans tous les sols. Le premier caractérisé par des pics très nets à 4,23, 3,34 et 2,45Å et le second par des pics à 7 et 3,5Å. La forte présence de ces deux minéraux explique la dominance de la silice (SiO_2) dont les teneurs varient entre 48 et 87% (tab. 4.18 et 4.19, An. III).

Les smectites sont présentes dans tous les échantillons surtout dans la partie supérieure des profils. Elles sont caractérisées par des pics à 14,5-15,5 Å sur les échantillons saturés au magnésium et à 17,5-19 Å sur les échantillons traités au glycérol. L'absence de pics à résolution très nette montre qu'il s'agit de minéraux mal cristallisés. Ce comportement s'explique par le fait qu'en milieu hyper-acide l'altération des phyllites se fait essentiellement par destruction des feuillets (Sadio, 1982; Berthelin et al., 1983). Il pourrait aussi s'agir de smectites néoformées à cause de la sursaturation en Na^+ .

On remarque des pics à 10 et 14 Å qui restent inchangés quel que soit le traitement appliqué, attribuables, respectivement à l'illite et à la

chlorite. Ces minéraux dominent dans les profils SS.56, SS.64 et SS.65. Dans les autres sols, ils sont présents sous forme de traces.

Le traitement au glycérol fait apparaître dans certains sols des pics à 15,2; 14,9 et 14,2 Å attribuables aux interstratifiés chlorites-vermiculites. Ils sont surtout abondants dans les profils SS.56 et SS.65. Dans les autres, ils ne sont présents que dans la partie supérieure.

Dans les sols potentiellement sulfatés acides des tannes vasières et des tannes inondés et dans les derniers horizons de quelques sols à jarosite jeune les rayons X révèlent la présence de pyrite.

Dans tous les sols des terrasses exondées on note la présence de la jarosite. Celle-ci est plus abondante dans le profil SS.35 où on la rencontre depuis la surface, alors que dans les autres profils elle n'apparaît qu'à partir de 30-40 cm (SS.60 et SS.65) et 55 cm (SS.64). Par contre dans des sols à horizons rhodiques la jarosite n'est présente que dans les horizons profonds (72-150 cm dans SS.18, 70-80 cm dans SS.56 et 55-120 cm dans SS.59). Dans la partie supérieure la jarosite est totalement hydrolysée en goethite entre 0-72 cm dans SS.18, entre 0-24 cm dans SS.59 et entre 47-70 cm dans SS.56. La présence de jarosite et de goethite dans ces sols révèle que l'oxydation de la pyrite et du fer se fait progressivement. Le fer est essentiellement sous forme libre (fig. 16).

On note la présence de gypse ($\text{Ca}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dans certains sols sulfatés acides sursalés à jarosite jeune (SS.60 et SS.65). Dans ces deux profils le gypse est préférentiellement concentré, respectivement, entre 0-30 cm et 4-74 cm. Dans la partie supérieure, 0-6cm (SS.60) et 4-37cm (SS.65) le gypse est cristallisé sous forme de filon ($\emptyset = 1$ à 3cm).

Les diagrammes réalisés sur poudre révèlent la présence de sels cristallisés, caractérisés par des pics à 2,821; 1,994 et 1,628 Å attribuables à l'halite (NaCl). Les croutes de sels prélevées sur la surface du profil SS.60 sont composées, en plus de l'halite, de la bloedite ($\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) à des pics de 4,56; 4,28 et 3,29 Å.

4.3.3 Les sols sulfatés acides hydromorphes salés

4.3.3.1 Généralités

Ce sont des sols dont la pédogenèse est dominée par des processus

d'oxydo-réduction du fer en milieu sulfaté acide et salé, dus à un engorgement temporaire occasionné par la présence d'une nappe phréatique temporaire et par l'accumulation des eaux de pluies. La salinité est soit due à une nappe phréatique peu profonde à fort battement, soit héritée des périodes de transgression marine (Chap. 2). On les rencontre dans les zones à topographie plane, inondées pendant l'hivernage par les eaux de pluies et sur les micro-dunes.

Ils se caractérisent par la présence dans le profil des taches d'oxydation de fer de couleur ocre, jaunâtre et ocre-rougeâtre provenant de l'hydrolyse totale de la jarosite. On les rencontre dans les dépressions et zones planes des glacis de raccordement, les terrasses moyennes et terrasses hautes enclavées par les chenaux de marées. La nappe phréatique est peu profonde, acide et salée. Ils sont généralement colonisés par une végétation herbacée dominée par *Borreria verticillata* associée ou non à des arbustes tels que *Lanea acida*, *Combretum glutinosum* et/ou *Mitragyna inermis*. Ces sols sont représentés dans la région, surtout dans la partie nord-ouest du bassin où ils sont associés aux sols sulfatés acides à taches ocre-rougeâtres dont ils diffèrent principalement par l'abondance des taches d'oxydo-réduction du fer, dues à l'alternance d'excès humidité et de dessèchement dans la partie supérieure du profil.

4.3.3.2 Caractéristiques morphologiques

La morphologie du profil pédologique varie avec la nature des matériaux.

Dans les sols sableux, le profil se distingue de celui des sols salés par la présence d'horizons lessivés (Be) entre 20 et 60 cm et par des taches jaunâtres (10YR 5/6) étalées dans la matrice du sol à partir de 30 cm de profondeur et des taches ocre-rougeâtres (5YR 5/8) vers 70-80 cm. Les taches sont moins abondantes que dans les sols sulfatés acides. On rencontre souvent à partir de 100-120 cm de profondeur des traces de racines de *Rhizophora* totalement oxydées (iron pipe).

Dans les sols à texture fine le profil est assez homogène et se distingue des autres par l'abondance des taches de couleur brun-olive (2,5Y 4/4), jaune-olive (2,5Y 6/6), ocre (10YR 5/6) et gris-rose (5YR 5/3) dans les horizons B. Vers 120-140 cm il présente un matériau peu

maturé physiquement à consistance très molle. La nappe phréatique se situe généralement entre 150 et 170 cm de profondeur. Ils sont inondés pendant l'hivernage par les eaux de pluies et sont peu représentés dans le domaine.

4.3.3.3 Caractéristiques physiques

La texture des matériaux est souvent grossière avec des proportions de sables variant entre 84% et 95%. Les résultats du tableau 4.11 (An. III), montrent une nette dominance des sables fins avec des teneurs de 42% à 81%. Les matériaux sont souvent homogènes sur tout le profil. Les teneurs en argiles et limons varient entre 10% et 30%.

Leurs propriétés hydriques sont comparables à celles des sols précédents.

4.3.3.4 Caractéristiques chimiques

Ils sont caractérisés par des pH comparables à ceux des sols sulfatés acides à taches ocre-rougeâtres, inférieurs à 5,0 dans la majeure partie du profil (fig. 22). Dans les sols complexes (Z1.P15) des terrasses hautes

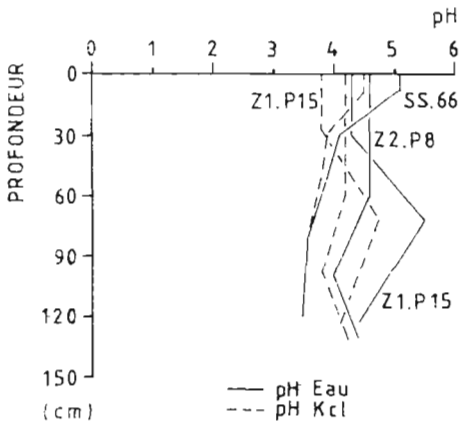


Figure 22: Variation du pH en fonction de la profondeur dans quelques sols sulfatés acides hydromorphes salés.

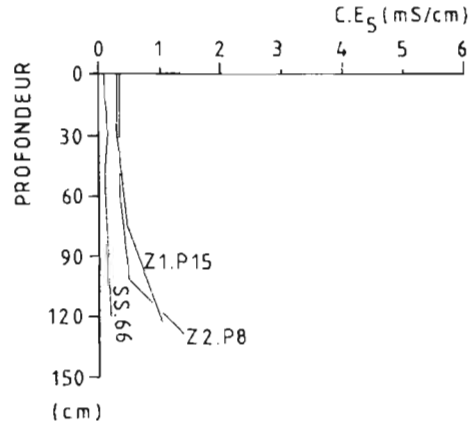


Figure 23: Variation de la salinité en fonction de la profondeur dans quelques sols sulfatés acides hydromorphes salés.

à *Combretum glutinosum* le pH diminue brutalement en profondeur.

Les taux de carbone sont comparables à ceux des sols sulfatés acides salés à taches ocre-rougeâtres, et inférieurs à 0,5% (tab. 4.11, An. III).

La salinité est aussi comparable à celle des sols sulfatés acides à taches ocre-rougeâtres sur le glacis de raccordement. Elle augmente avec la profondeur (fig. 23). Les éléments majeurs sont également dominés par les chlorures et le sodium. On note de faibles teneurs en calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}) et de bicarbonates (HCO_3^-) surtout en profondeur.

4.4 Distribution séquentielle des sols

Pour mieux comprendre la distribution des types de sols en fonction de la variation topographique nous avons réalisé à Ngan le long de quelques séquences des profils qui ont été décrits systématiquement. La longueur des séquences varie entre 4 et 5 km, allant du plateau au bord du fleuve Saloum (fig. 8). Le choix de Ngan, comme site d'étude, repose sur le fait qu'il est assez représentatif des tannes du Sine Saloum, car tous les principaux types de sols et unités géomorphologiques y sont présents. Ces séquences diffèrent par l'importance des différentes unités. Seuls les résultats de la séquence 2, considérée comme représentative de la zone, sont présentés ici.

Cette séquence est orientée NW-SE et située entre le village de Gamboul et le fleuve Saloum (fig. 8).

Elle traverse le glacis de raccordement, les terrasses, le marigot de Ngan et un chenal de marée. Une trentaine de profils ont été creusés et décrits systématiquement dont 19 analysés.

4.4.1 Types de sols des différentes unités géomorphologiques de la séquence S2

Cette séquence comporte la quasi-totalité des unités morphologiques que l'on rencontre dans la plupart des tannes du Sine Saloum. La figure 24 illustre la succession des unités géomorphologiques et les types de sols

le long de la séquence.

Les différentes unités géomorphologiques et les types de sols que l'on rencontre dans cette séquence sont très caractéristiques du domaine des tannes. Ils se caractérisent comme suit:

- Glacis raccordement: caractérisé par une surface inclinée NS avec une pente de l'ordre de 0,3%, une altitude d'environ 2 m par rapport au niveau du Saloum et de 6 m par rapport à la mer, et par une grande extension des tannes à végétation arbustive de *Combretum glutinosum* associé à *Borreria verticillata*. Il s'étend sur environ 500 m, depuis Gamboul jusqu'au bord des terrasses moyennes. Dans sa partie supérieure il présente une forêt d'*Acacia seyal* dense.

Les sols sont de types sulfatés acides hydromorphes peu salés (S2.P2 et S2.P3, fig. 24) caractérisés par des horizons Bjo à taches ocre-rougeâtres (7,5YR 5/6, 5YR 5/6, 2,5YR 5/6) entre 20-70 cm, Be à taches gris-claires (10YR 7/1) entre 40-60 cm et Cg de couleur gris-beige (10YR 7/2), mouillé à partir de 70 cm. Dans la partie médiane, ils sont salés sulfatés (S2.P1). Ils sont engorgés d'eau de pluies en hivernage.

- Terrasses moyennes: caractérisées par une différence d'altitude de 0,30 m par rapport au glacis de raccordement auquel elle fait suite et par un plan incliné à pente allongée (0,2%) vers le marigot. Elles comportent des tannes nus et des tannes à végétation herbacée composée principalement de *Borreria verticillata* associée à *Ctenium elegans* ou de *Cyperus esculentus* à la limite du glacis de raccordement, de tannes à végétation arbustive à *Combretum glutinosum* et de *Mitragyna inermis* à la bordure des forêts des terrasses hautes près du Saloum (fig. 24).

Les tannes à végétation arbustive sont caractérisés par des sols sulfatés acides hydromorphes peu salés (S2.P18) localisés dans des dépressions inondées pendant l'hivernage et ceux à végétation herbacée par des sols sulfatés acides salés à taches ocre-rougeâtres (S2.P4).

Les tannes nus présentent des sols sulfatés acides salés à taches jaunâtres (10YR 5-8/4-8) (S2.P5 et S2.P9) et des sols à horizons rhodiques (2,5YR 5/6) entre 30-60 cm, situées à la bordure des terrasses hautes (S2.P13, S2.P14 et S2.P19). Ces sols présentent presque tous vers 60-70 cm un horizon de couleur marron (5YR 4/2) et une accumulation de sels en surface, sous forme de couches à structure poudreuse, pelliculaire ou en croutes (horizon Az).

- Terrasses hautes: constituent l'unité la plus importante de cette séquence, s'étendant sur une distance de 1 km, entre le marigot de Ngan et le Saloum. Mais c'est dans la séquence S1 (fig. 7b) qu'elles sont plus étendues, environ 3 km.

Elles se caractérisent par une altitude comparable à celle du glacis de raccordement, d'environ 5,5 à 6,0 m par une topographie plane avec présence de quelques dépressions plus ou moins ouvertes. Elles sont occupées par une végétation forestière plus ou moins dense composée essentiellement d'*Acacia seyal*, associés par endroits à *Balanites aegyptiaca*, *Acacia senegal*, *Acacia nilotica* et *Mitragyna inermis*. Elles sont totalement inondées pendant l'hivernage par les eaux des pluies. Elles forment deux parties séparées par un chenal de marée d'environ 100 m de large et de 4,7 m d'altitude, inondé d'eau sursalée par les marées d'Avril et Mai et pendant l'hivernage, et par une terrasse moyenne de 5 m d'altitude inondable seulement en hivernage.

On y rencontre des sols salés sulfatés alcalins sur matériaux coquilliers (S2.P10, S2.P15, S2.P16, S2.P25, S2.P26 et S2.P28). Dans les terrasses moyennes et le chenal de marée les sols sont de type sulfatés acides sursalés à taches ocre-rougeâtres et à jarosite jeune, respectivement.

- Terrasses basses: situées de part et d'autre des cours d'eau et soumises à l'influence des marées qui les inondent temporairement, elles ont une différence d'altitude de 0,2 m par rapport au Saloum et de 0,3 à 0,5 m par rapport au marigot de Ngan.

Elles se caractérisent par des tannes sursalés totalement nus présentant une fine pellicule de sels plus ou moins humide dans les zones non inondées et par des tannes vasières (chap. 2) près des cours d'eau.

Les sols sont de types potentiellement sulfatés acides sursalés (S2.Ti, S2.TV, S2.P30 et S2.P31). Dans les tannes non inondés, les sols sont de type sulfatés acides à jarosite jeune (S2.P7, S2.P8, S2.P12 et S2.P21).

4.4.2 Caractéristiques physiques des sols de la séquence S2

Les matériaux sont variables d'un sol à l'autre (tab. 4.12 à 4.17, An. III). Ainsi on distingue des sols:

- sableux: caractérisés par des teneurs en sables variant entre 70% et 83% avec une moyenne de 75,8% pour un écart-type de 6,6. Ils caractérisent les sols sulfatés acides hydromorphes peu salés (S2.P2 et S2.P3) du glacis de raccordement et les sols sulfatés acides salés à taches ocre-rougeâtres (S2.P4) des tannes localement couverts de végétation herbacée.
- sablo-limoneux: caractérisés par une légère dominance des sables avec des teneurs moyennes de 55,4% et un écart-type de 13,5 contre respectivement 26% et 7,6 pour les limons et 19% et 5,9 pour les argiles. Ces sols sont peu répandus et de types sulfatés acides hydromorphes peu salés à taches ocre-rougeâtres (S2.P18) et sulfatés acides à taches jaunâtres sursalés (S2.P9). Certains sols sont caractérisés par des matériaux complexes formés de sables (75%) reposant sur des limons (57%) (S2.P6, S2.P8, S2.P11).
- limono-sableux: caractérisés par des limons et des argiles dont la somme dépasse 56%. Ce sont des sols sulfatés acides à taches ocre-rougeâtres et jaunâtres des terrasses moyennes que l'on rencontre entre les terrasses hautes et le fleuve Saloum (S2.P17 à S2.P20).
- limono-argileux: caractérisés par une dominance des limons avec une teneur moyenne de 45% et des argiles de l'ordre de 30%. Ils constituent les sols sulfatés acides sursalés à jarosite jeune des terrasses basses (S2.P7) et des chenaux de marées (S2.P12), les sols sulfatés acides salés à taches et horizons rhodiques des terrasses moyennes à la limite des forêts d'*Acacia seyal* (S2.P13 et S2.P14) et les sols salés sulfatés alcalins des terrasses hautes (S2.P10, S2.P15 et S2.P16). Le profil est souvent polyphasé. La plupart des sols sur terrasses hautes reposent vers 60-70 cm sur des coquilles d'huitres.
- argilo-limoneux: caractérisés par des teneurs moyennes de 57% d'argiles. Ils ne se rencontrent que dans les dépressions et sont sulfatés acides salés à taches jaunâtres (S2.P5) et salés sulfatés (S2.P26).

Dans la plupart des sols, la partie supérieure des profils repose entre 60-80 cm sur des matériaux d'origine différente, peu mûrés physiquement, de structure non développée à consistance molle à très molle. Sur les terrasses basses les horizons présentent vers 80-100 cm de profondeur des racines pourries plus ou moins décomposées de *Rhizophora*.

4.4.3 Caractéristiques chimiques des sols de la séquence S2

Les pH sont inférieurs à 5,0 dans la majeure partie des sols, à l'exception de ceux des terrasses hautes sous forêt d'Acacia où ils sont compris généralement entre 6,0 et 8,5 (tab. 4.12 à 4.17, An. III). Comme précédemment (chap. 4, p. 49), ce sont les sols à taches et horizons rhodiques (S2.P13, S2.P14 et S2.P19) qui révèlent la plus forte acidité, avec des pH inférieurs à 4,0. La figure 25 montre une grande variation spatiale du pH des sols le long de la séquence S2. Cette variabilité du pH tient à la distribution spatiale des différents types de sols (Burrough et al., 1986).

Les teneurs en carbone montrent dans l'ensemble des sols une pauvreté en matières organiques totales, généralement inférieures à 1,5%, à l'exception des sols des terrasses hautes sous forêt d'Acacia où elles peuvent atteindre près de 5%. Les rapports C/N sont généralement inférieurs à 15. Cependant dans les sols sulfatés acides sursalés à jarosite jeune et potentiellement sulfatés acides sursalés, des terrasses basses, les rapports sont supérieurs à 25 et révèlent ainsi une très mauvaise minéralisation, comme constaté précédemment.

La salinité est très variable d'un sol à l'autre. C'est dans les terrasses basses et moyennes, soumises à une plus grande influence des cours d'eau qu'elle est plus élevée (fig. 33). Les sols salés sulfatés sont caractérisés par une salinité généralement faible qui augmente en profondeur.

4.5 Conclusion

Le principal enseignement que met en évidence cette étude est la diversité des sols dont les caractéristiques morphologiques et chimiques semblent être étroitement liées à leur position topographique et à la dynamique du réseau hydrographique.

A chaque unité géomorphologique semble correspondre un type de sol et une végétation caractéristiques.

Seules les caractéristiques morphologiques et physico-chimiques permettent de discriminer les grands types de sols. Il ne semble pas exister de

types de matériaux caractéristiques d'une unité ou d'un type de sol donné. Toutefois on peut dire que les matériaux sableux caractérisent les sols des tannes à végétation arbustive et herbacée sur glacis de raccordement et sur terrasses moyennes, alors que les matériaux limoneux se rencontrent surtout dans les sols des terrasses basses et terrasses hautes sous forêt d'*Acacia seyal*.

La variation de la salinité est étroitement liée à celle de la topographie qui fait que les sols sur terrasses basses soient plus salés que ceux des terrasses hautes, malgré leur localisation près des cours d'eau sursalés.

Grâce à leur position topographique et à la texture plus ou moins sableuse qui permet une bonne infiltration des eaux des pluies, les sols sur glacis de raccordement et des terrasses moyennes se dessalent dans la partie supérieure du profil sur une épaisseur de plus de 60 cm pendant l'hivernage.

L'acidité affecte tous les sols des terrasses moyennes et basses et des glacis de raccordement, généralement depuis la surface. Dans les terrasses hautes la présence de coquilles d'huitres en profondeur semble neutraliser l'acidité qui reste perceptible sur le profil grâce à la présence des taches jaune-olives très caractéristiques de ces sols. Les conséquences de cette évolution se manifestent par des processus pédogénétiques caractéristiques de chaque milieu pédoclimatique.

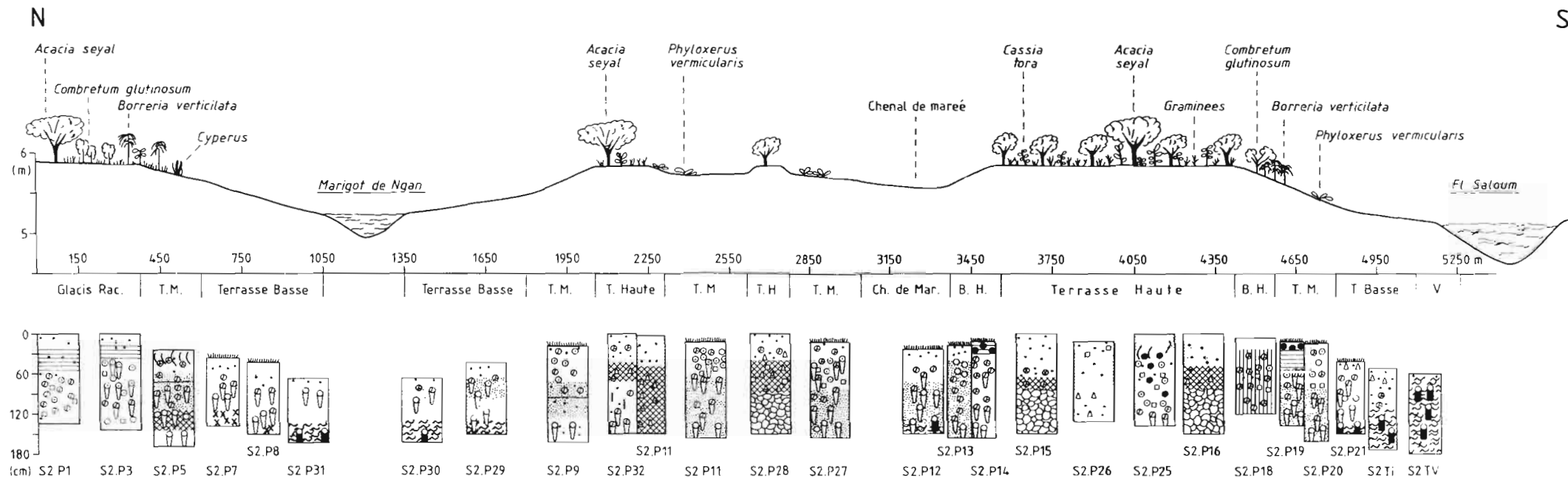
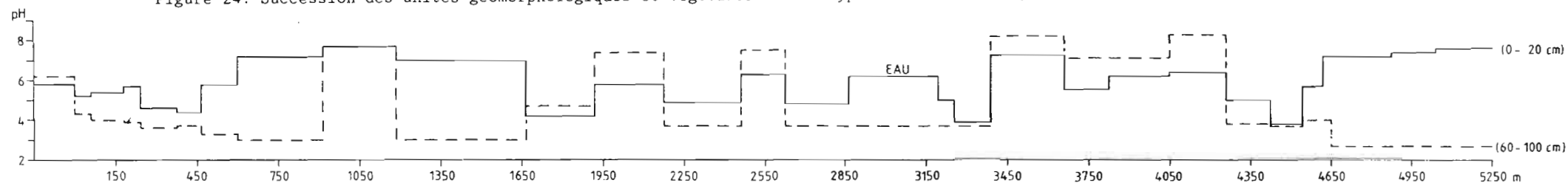


Figure 24: Succession des unités géomorphologiques et végétales et les types de sols le long de la séquence S2.



LEGENDE

UNITES:

- G.R. : Glacis de raccordement
- T.M. : Terrasse moyenne
- T.B. : Terrasse basse
- T.H. : Terrasse haute
- C.M. : Chenal de marée
- B.T.H. : Bordure de terrasse haute
- V. : Vasière

COULEUR DES HORIZONS DES PROFILS:

- Gris noir à brun noir
- Marron, gris-marron à brun-marron "Purée de marron"
- Rhodique
- Gris-rose
- Gris-olive à brun-olive
- Tourbeux
- Coquilles d'huîtres

COULEUR DES TACHES:

- I: ocre-rouille, ocre
- : concrétions ferriques
- : rouge
- : ocre-rougeâtre
- : jaunâtre
- : jaune-pâle (jarosite)
- : jaune-olive
- Δ : brun-olive
- Δ : gris-olive
- : gris-clair
- x : traînées noires

SIGNES PARTICULIERS:

- : Racines de Rhizophora
- : accumulation de sels

Figure 25: Variation du pH (Eau) du sol le long de la séquence S2.

CHAPITRE 5

GENESE DES SOLS SULFATES ACIDES SALES DES TANNES

5.1 Introduction

Les différences morphologiques, physico-chimiques et minéralogiques révélées par les principaux types de sols (chap. 4), sont à rapprocher avec les divers processus pédogénétiques.

Les processus les plus dynamiques sont la salinisation et l'acidification liées, respectivement, à la présence de sels solubles et à l'oxydation de la pyrite des sédiments. Ils sont orientés par les conditions écologiques du milieu et par l'environnement physico-chimique.

Ce chapitre traite donc des mécanismes d'action de divers processus mis en jeu au cours de ces dernières décennies de sécheresse et qui ont abouti à la formation de ces sols.

Leurs études reposent sur nos observations de terrain et sur les résultats d'analyses physico-chimiques des sols.

5.2 Facteurs de pédogenèse

La formation de ces sols sulfatés acides salés est orientée par l'action différentielle de divers facteurs qui agissent de manière simultanée: le climat, la topographie, l'hydrologie, le matériau, les sels solubles et le soufre.

5.2.1 *Le climat*

La pédogenèse actuelle de ces sols est une conséquence de l'aridité du climat. En effet les déficits pluviométriques successifs enregistrés dans la zone et les fortes températures (chap. 2) ont déclenché et amplifié la sursalure et l'acidification des sols et des ressources en eau. L'acidification qui était limitée avant les années 1971 seulement à certaines zones aménagées par ILACO (Société hollandaise d'aménagement) entre 1963 et

1975, a pris un développement considérable à cause de la sévérité de la sécheresse au cours de ces 20 dernières années.

L'étroite relation entre la dégradation du climat et l'apparition des processus de salinisation et d'acidification des sols, nous amène à affirmer que les tannes identifiés dans cette zone avant les années 1970 (Bonfils et al., 1965), seraient issus des différentes périodes sèches de 1888 à 1889, 1900 à 1904, 1910 à 1914, 1919 à 1921 et de 1950 à 1958 (Le Borgne, 1988). Leur courte durée et l'alternance avec des périodes humides plus longues n'ont pas permis l'amplification de ces processus et le développement des tannes.

L'influence de l'aridité du climat sur la salinisation des sols a été nettement mise en évidence par de nombreuses études dans plusieurs pays: Inde (Raheja, 1966; Agarwal et al., 1979; Gupta et al., 1987), et d'Afrique du Nord (FAO, 1972; Elgabaly, 1972b), Australie (Hillman, 1981; Bresler et al., 1982), U.S.A. (Richards, 1954; Miller et al., 1981; Bresler et al., 1982).

5.2.2 Hydrologie

Le réseau hydrographique, par sa densité et la forte salinité de ses eaux, exerce une grande influence sur le comportement hydrochimique et physique des sols. Ainsi tous les sols soumis à son influence directe sont caractérisés par une sursalure due aux marées et à la remontée des nappes phréatiques dont la $C.E_n$ reste comprise entre 70 et 130 mS/cm pendant 8 à 9 mois. Toute inondation ou remontée de la nappe phréatique provoquée par les marées correspond à une augmentation de la salinité du sol, car dès le retrait des eaux, les sels précipitent sur place par évaporation sous l'action des températures élevées. La saturation en eau du milieu dans les zones fréquemment inondées empêche la maturation physique des sols.

Son influence sur les inondations et la remontée des nappes phréatiques varie avec les saisons et affecte selon l'amplitude des marées les sols des terrasses basses et des terrasses moyennes. En régime climatique normal l'influence de l'hydrologie sur les sols ne se manifeste qu'au niveau de la salinisation, l'acidification par oxydation de la pyrite étant rendue impossible à cause de la saturation en eau. Ceci explique le fait que les sols sulfatés acides étaient peu connus avant l'installation permanente de

la sécheresse.

5.2.3 Topographie

La topographie, aussi faible que soient les dénivélations entre les différentes unités géomorphologiques ($<0,5\%$) (fig. 7 et 24), joue un rôle important sur les comportements hydriques et physico-chimiques des sols. En effet, l'étude comparée des sols le long de la séquence S2 a révélé une relation étroite entre la topographie, l'influence de l'hydrologie, la maturation physique et le niveau de salinité.

La faible différence d'altitude (20-30 cm) entre les cours d'eau et les terrasses basses explique la grande influence exercée par l'hydrologie sur leur maturation physique et leur évolution chimique. Dans les terrasses hautes, les terrasses moyennes et les glacis de raccordement, le bon drainage des sols a accentué l'action du climat sur les processus de maturation physique et chimique.

5.2.4 Sels solubles

Malgré le fait que leur importance soit essentiellement une conséquence du climat et qu'ils n'affectent pas les propriétés physiques des sols, les sels solubles sont considérés ici comme un facteur de pédogenèse, car leur présence entraîne un comportement chimique particulier des sols. Les propriétés chimiques varient donc avec la quantité et la nature des sels dissouts dans la solution interstitielle du sol, comme l'ont révélé les résultats des éléments majeurs et la C.E, des sols discutés dans le chapitre 4.

La forte concentration des sels modifie dans certains cas la composition géochimique et minéralogique des sols, comme le témoigne dans les sols moyennement salés et sursalés la formation de sels minéraux de type halite, bloedite, konyaite et de gypse et de minéraux argileux 2:1 sodiques et magnésiens.

5.2.5 *Le Soufre*

La présence qualitative et quantitative du soufre différencie considérablement les caractéristiques morphologiques et chimiques des sols (chap. 4). C'est ainsi que les sols potentiellement sulfatés acides, dans lesquels le soufre est présent sous forme essentiellement de pyrite, sont caractérisés par des pH in situ neutres. Par contre ceux où la pyrite a été partiellement ou totalement oxydée (sols à jarosite jeune et sols à jarosite évoluée, chap. 4) sont caractérisés par des pH très bas et par de nombreuses taches de jarosite. Par contre les sols des glaciers de raccordement pauvres en soufre, ont un profil peu différencié morphologiquement.

Le soufre en discriminant nettement les types de sols, constitue donc le facteur le plus déterminant des principaux processus de pédogenèse, comme l'ont démontré les nombreux travaux menés dans divers pays (Van Beers, 1962; Pons, 1964, 1966; Van Breemen, 1976; Dent, 1986).

5.2.6 *Les matériaux parentaux*

Les matériaux parentaux, malgré le fait qu'ils ne discriminent pas de façon significative les principaux types de sols (chap. 4), leur influence sur la pédogenèse semble important dans la mesure où leur comportement physique et chimique en dépendent (capacité d'échange cationique, rétention en eau).

C'est ainsi que les sols formés sur des sédiments coquilliers sont peu acides à alcalins à cause de la neutralisation de l'acidité par le calcium fourni par la dissolution des coquilles, tandis que dans les sols sableux la faible capacité d'échange cationique et le faible taux de saturation favorisent l'acidification.

5.3 *Mise en place des matériaux*

Les différents épisodes morphoclimatiques qui se sont succédés au cours du Quaternaire récent (chap. 2) ont entraîné plusieurs phases de la mise en place des matériaux des sols.

Le caractère fluvio-marin du bassin fait que les sédiments et les pro-

cessus de sédimentation sont soumis à la fois à une influence fluviatile, marine et continentale.

5.3.1 Types de matériaux

La composition granulométrique des sols (chap. 4) a révélé la dominance des fractions sableuses et limoneuses. Sur 323 échantillons analysés, 218 présentent des teneurs en sables comprises entre 62 et 98% avec une moyenne de l'ordre de 76% et un écart-type de 13. Les fractions sableuses sont dominées par les sables fins (50-200 μm) qui occupent entre 50 et 86%. Quatre vingt treize échantillons présentent des teneurs en limons supérieures à 50%. Seuls 13 échantillons possèdent des teneurs notables en argiles, comprises entre 40 et 61%, avec une moyenne de 49% et un écart-type de 7,3.

Les matériaux sableux caractérisent les sols du glacis de raccordement, des dunes, des levées sableuses et des terrasses hautes à *Combretum glutinosum*. Quant aux matériaux limoneux ils dominent sur les terrasses moyennes, basses et terrasses hautes à *Acacia seyal* (tab. 4.12 à 4.17, An. III).

Les matériaux argileux sont peu répandus et se rencontrent généralement dans les dépressions et les tannes vasières.

5.3.2 Dynamique de sédimentation

La représentation graphique des principales fractions granulométriques (sables, limons et argiles) a permis d'étudier la dynamique de mise en place des matériaux le long de la séquence S2. Au total 19 fractions ont été déterminées (An. I).

Les pourcentages cumulés des différentes fractions granulométriques ont été portées sur un graphique en échelle logarithmique probabilité.* Dans ce type de représentation les sédiments constituant des populations nor-

* La représentation graphique des sédiments sur l'échelle log probabilité a été réalisée à l'aide d'un programme écrit par E.L. Meijer (Dept. of Soil Sci., Wag. Univ., Nether.). Ce programme est exploité avec Symphony (Lotus 1-2-3).

males sont caractérisées par des droites. Ces droites sont parallèles pour une même famille sédimentologique (Rivière, 1977; Pettijohn et al., 1987). On remarque dans la quasi-totalité des échantillons qu'environ 99% des sédiments ont une taille inférieure à 400 μm . On distingue 3 familles de sédiments:

- C1: sédiments caractérisés par des courbes plus ou moins droites avec une concavité vers le bas et groupées ensemble, constitués grosso-modo de populations normales de grains. Ils sont assez grossiers, avec une médiane (50% des sédiments) et un décile 90% correspondant respectivement à des fractions de diamètre inférieur à 104 μm et 266 μm . Ils caractérisent les sols sableux des glacis de raccordement (S2.P2 et S2.P3) (fig. 26).

Dans la partie médiane du glacis de raccordement les courbes révèlent un décalage entre l'horizon de surface et ceux de profondeur (S2.P1) avec une médiane correspondant respectivement à des fractions de diamètre inférieur à 139 μm et 73 μm et un décile 90% de 285 μm et 248 μm . Ce décalage serait dû probablement à l'action des eaux de pluies dont le ruissellement provoquerait l'appauvrissement latéral des éléments fins comme le révèlent les teneurs en argiles de 4,3% en surface contre 25 à 27% en profondeur. Cet appauvrissement des horizons de surface se fait au bénéfice des sols situés dans le glacis inférieur (S2.P2 et S2.P3).

Dans les terrasses situées à la limite des tannes vasières (S2.P8) le fort décalage entre les horizons du profil révèle différentes populations sédimentologiques issues probablement de remaniements sous l'influence d'apports d'origines diverses (fig. 27). Les sédiments des horizons de surface et intermédiaires sont caractérisés par un diamètre inférieur à 117 μ et ceux des horizons de profondeur, par des grains plus fins de diamètre inférieur à 50 μm .

- C2: sédiments caractérisés par la finesse des fractions, des courbes en forme de S, avec une médiane correspond à un diamètre inférieur à 66 μm et un décile 90% constitué de fractions inférieures à 93 μm . Ils caractérisent les sols des terrasses basses (S2.P21), des terrasses moyennes des bordures du fleuve (S2.P18 et S2.P19) (fig. 28).

Dans les terrasses hautes sous forêt d'*Acacia seyal* les courbes traduisent la présence de deux populations de sédiments (fig. 29). L'une,

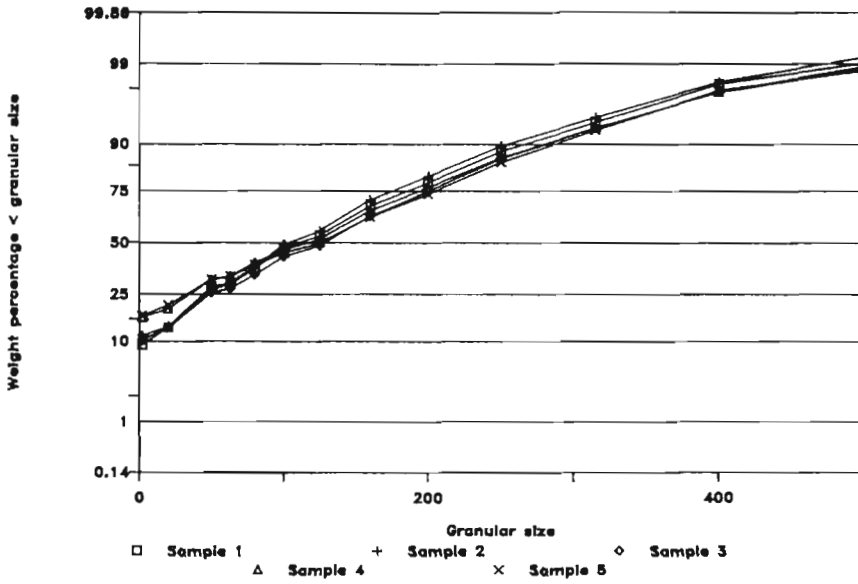


Figure 26: Courbes cumulatives granulométriques en échelle log probabilité: Sédiments de type C1, homogènes.

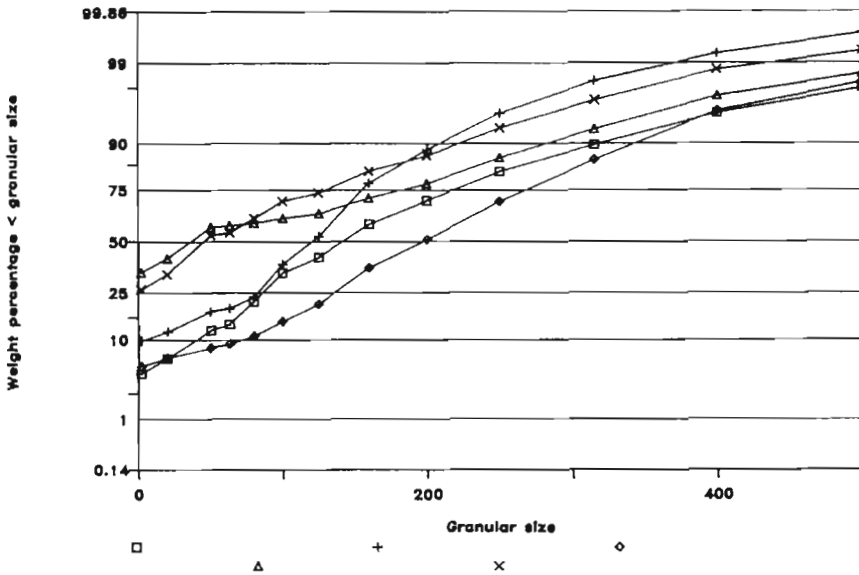


Figure 27: Courbes cumulatives granulométriques en échelle log probabilité: Sédiments de type C1, complexes remaniés.

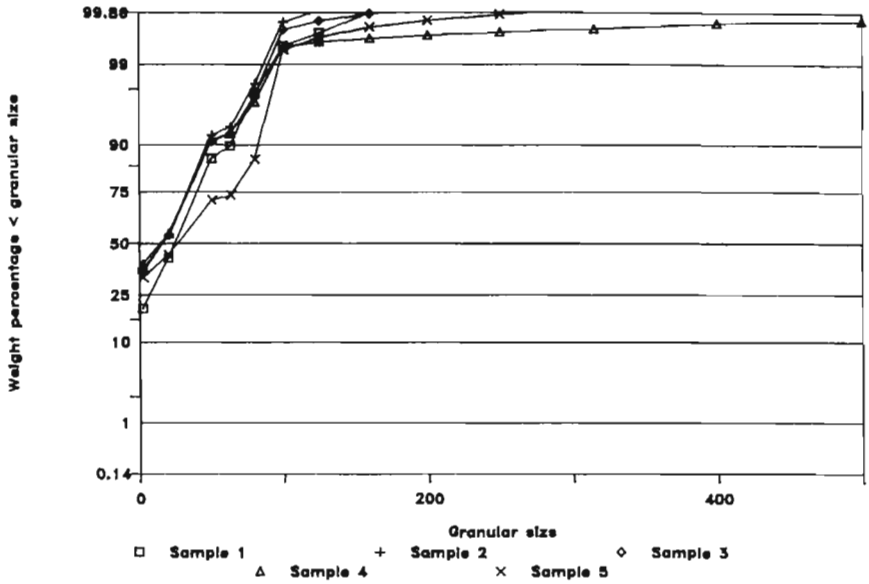


Figure 28: Courbes cumulatives granulométriques en échelle log probabilité: Sédiments de type C2, homogènes.

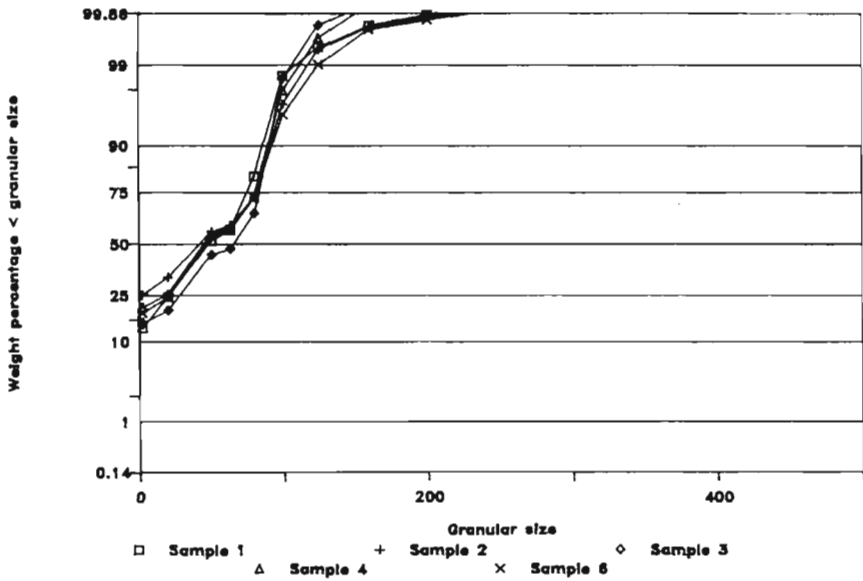


Figure 29: Courbes cumulatives granulométriques en échelle log probabilité: Sédiments de type C2, complexes.

constituée par les horizons de surface et intermédiaires paraît dominante et caractérisée par un bon tri, une médiane correspondant à des fractions de diamètre inférieur à 35 μm et un décile 90% inférieur à 47 μm . L'autre population, constituée par des sols à horizons coquilliers (S2.P16) ou de sédiments de texture différente (S2.P12 et S2.P14), est caractérisée par une médiane et un décile correspondant, respectivement, à des fractions de diamètre inférieur à 46 μm et 78 μm . D'après Rivière (1977), ces sédiments sont caractéristiques des dépôts estuariens, des vases littorales ou lagunaires et des biefs inférieurs des cours d'eau. On peut donc affirmer qu'il s'agit ici principalement d'alluvions limoneuses déposées par les cours d'eau au cours des différents épisodes climatiques.

- C3: sédiments caractérisés par une superposition de deux populations distinctes (fig. 30) dont l'une est constituée par les horizons de profondeur avec des courbes de type C1 (fig. 26) et l'autre par ceux des parties supérieure et médiane avec une courbe de type C2 (fig. 28). Ils caractérisent les sols à matériaux complexes des terrasses moyennes (S2.P9) et des zones de transition entre les terrasses basses et terrasses moyennes (S2.P6). C'est le décile 90% qui les différencie avec un diamètre inférieur à 77 μm dans la partie supérieure et intermédiaire 241 μm en profondeur. Il s'agit de deux histoires sédimentologiques différentes dont l'une résulte du manteau continental et l'autre des périodes humides nouakchottiennes et post-nouakchottiennes.

Les différentes familles de sédiments et l'évolution de la médiane le long de la séquence S2 (fig. 31) mettent en évidence l'action de quatre courants de sédimentation: marin, fluvio-marin, pluvial et éolien.

Durant toutes les grandes périodes humides du Quaternaire (chap. 2) la sédimentation a été essentiellement marine. Elle aurait provoqué le dépôt des sédiments limono-argileux et des vasières au-dessus des matériaux du Continental Terminal.

Les amas de coquilles d'huîtres que l'on rencontre dans les profils des terrasses hautes sous *Acacia seyal*, datant du Nouakchottien et des périodes postérieures (chap. 2), témoignent de cette sédimentation marine qui aurait dominé dans toutes les zones submergées comprises entre la mer et le plateau continental. Elle aurait duré toute la période nouakchot-

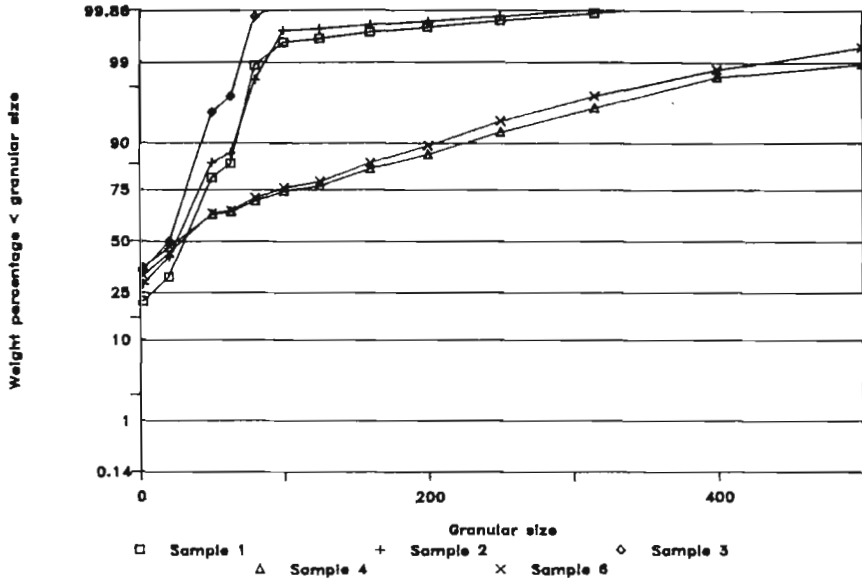


Figure 30: Courbes cumulatives granulométriques en échelle log probabilité: Sédiments de type C3, complexes.

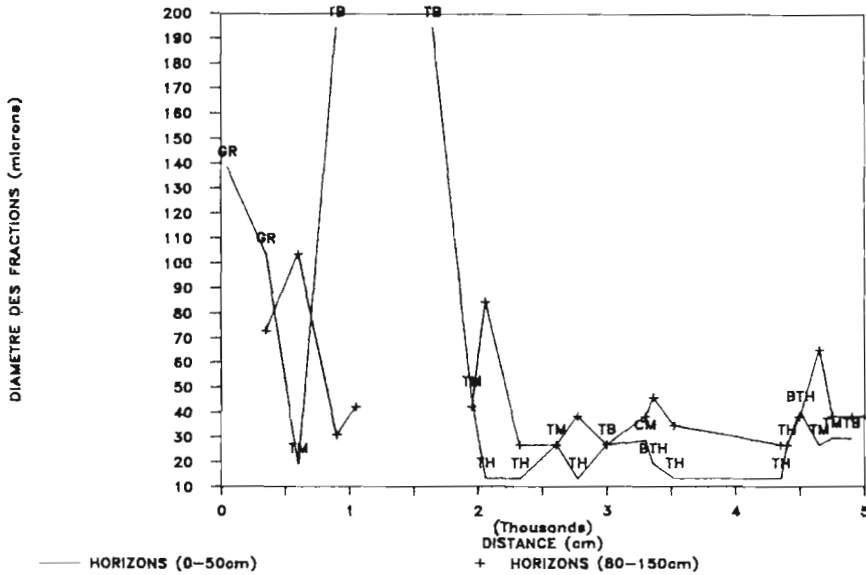


Figure 31: Variation de la médiane le long de la séquence S2.

tienne et les périodes humides post-nouakchottiennes.

Après le retrait de la mer le dépôt des sédiments (C1) sableux arrachés du plateau continental et transportés par le vents et les eaux de ruissellement ont abouti au comblement et colmatage de certaines entailles du fleuve. Ces sédiments auraient contribué à la formation du glacis de raccordement des terrasses hautes sableux, au-dessus d'anciens sédiments marins pyritiques que l'on rencontre entre 100 et 200 cm de profondeur. Les terrasses moyennes situées près des glacis de raccordement auraient été formées par ces processus. L'appauvrissement de la partie supérieure des sols du glacis de raccordement et les apports par les cours d'eau ont entretenu la sédimentation au niveau de ces terrasses (fig. 27 et 30).

Le courant fluvio-marin est l'agent le plus dynamique de la sédimentation. Il a régné depuis la fin du Quaternaire jusqu'à l'actuel. Son action se caractérise par une submersion périodique par les eaux du fleuve, reprise et redistribution des sédiments marins et continentaux (fig. 30) déposés pendant la régression marine. Les matériaux qui superposent les amas de coquilles dans les terrasses hautes se seraient déposés à cette période (fig. 29).

La finesse des fractions des sédiments de type C2 (fig. 28 et 29) et type C3 (fig. 30) montre que la sédimentation a été essentiellement fluvio-marine. L'abondance de Quartz et de Kaolinite, indicateurs du manteau continental (Kalck, 1978), est une parfaite illustration de l'influence continentale dans les processus de sédimentation sous l'action des vents et des eaux de ruissellement. Ces types de sédimentation sont caractéristiques du bassin du Saloum, comme l'ont constaté Diop (1978 et 1986), Marius (1985) et Thiam (1986) dans le delta du Saloum.

5.4 Les sels et la salinisation des sols

5.4.1 Origine et types des sels

Au Sénégal l'origine des sels qui affectent les sols et les eaux des nappes phréatiques est essentiellement marine. Elle résulte de l'un des différentes phases climatiques qui se sont succédées au Quaternaire et ont provoqué un envahissement du continent par les eaux marines pendant la

transgression nouakchottienne. Malgré les phases humides qui ont suivi, les sols sont donc restés salés, même si la salinité est demeurée nettement inférieure à celle que l'on connaît actuellement. Ce sont donc exclusivement des sels solubles.

La salinisation dite "secondaire" due aux mauvaises pratiques d'irrigation (Richards, 1954; Chapman, 1966; Raheja, 1966; Arar, 1972; Elgabaly, 1972b; FAO, 1972; Bresler et al., 1982) n'est observée que dans les périmètres irrigués du delta et de la vallée du fleuve Sénégal (Le Brusq, 1984).

Dans les sols sulfatés acides salés du Sine Saloum et du reste du Sénégal, les sels sont d'origine exclusivement marine, composés essentiellement de chlorures de sodium (NaCl) et secondairement de magnésium (MgCl_2), de sulfates de sodium (Na_2SO_4) et sulfates de magnésium (MgSO_4). Les sulfates de calcium (CaSO_4) sont aussi présents mais sont moins fréquents que les autres. Ce sont des sels très solubles (tab. 6).

Tableau 6: Solubilité des sels.

Sels	Solubilité (g/l)
NaCl	264
Na_2SO_4	170
MgSO_4	262
CaSO_4	1,9
CaCl_2	400-500
MgCl_2	353

Le mélange de ces sels dans le milieu naturel affecte leur solubilité spécifique. Ainsi, la présence de chlorures de sodium (NaCl) dans le milieu peut entraîner une diminution notable de la solubilité des sels MgCl_2 , CaCl_2 et Na_2SO_4 , ou une augmentation de celle de CaSO_4 . D'après Agarwal et al. (1979) une solution de 25 g/l de NaCl peut faire varier la solubilité du gypse de 0,24 g/l à 0,82 g/l.

La solubilité des sels dépend non seulement de la concentration des différents cations et anions dans la solution, de la température et du pH du milieu chimique réactionnel (FAO/UNESCO, 1973), mais surtout de leur nature minéralogique.

5.4.2 Type de salinité

Dans les milieux salés on distingue généralement la salinité du sol et la salinité des eaux des nappes phréatiques. Dans le premier cas, les sels sont, soit dissouts dans la solution interstitielle, soit accumulés sous forme cristallisée dans le sol, lorsque celui-ci est sec. Par contre, dans le second cas, ils sont en solution. Lorsque les deux types de salinité coexistent dans un même milieu, le premier est souvent liée au second.

Que ce soit dans le cas du sol ou celui de la nappe, la salinité dépend de la nature des sels présents dans le milieu.

5.4.2.1 Salinité du sol

Les éléments majeurs dosés dans les extraits 1/5¹ ont révèlent dominance des anions par Cl^- et des cations par Na^+ dont la concentration varie dans le même sens que la conductivité électrique.

Il existe une bonne corrélation ($R = 0,86$) entre la C.E_s et le résidu sec, traduite par la relation.

$$\text{R.S} = 0,56 \times \text{C.E}_s + 0,04 \quad (\text{Eq. 1})^2$$

où

- R.S = résidu sec exprimé en mg/l
- C.E_s = conductivité électrique de l'extrait 1/5 mesurée à 25°C, exprimé en mS/cm.

L'étroite relation entre les concentrations en Na^+ et Cl^- avec la C.E_s d'une part, et entre Cl^- et Na^+ d'autre part, confirme le caractère chloruro-sodique de la salinité des sols et l'origine marine des sels. Ceci explique en partie le fait que malgré ses fortes concentrations et Na^+/T et élevés (>15%) dans les sols moyennement salés et sursalés, Na^+ n'est pas fixé sur le complexe d'échange du sol. Cela rejoint les obser-

¹ La concentration des éléments est affectée par la dilution de l'extrait, mais dans le cas de sels solubles, particulièrement des chlorures, la dilution au 1/5 affecte très peu le rapport des éléments (Agarwal et al., 1979).

² Cette équation peut éviter le recours au conductivimètre pour la détermination de la conductivité électrique des sols. Il suffira de mesurer les résidus secs, à partir d'évaporation d'extraits.

vations de Gupta et al. (1987) pour qui ce rapport caractéristique de sols alcalins sodiques n'a pas de signification pour les sels salés à sels de chlorures.

5.4.2.2 Salinité des nappes phréatiques

Le tableau 7 donne la qualité (pH et C.E) et la composition géochimique des eaux de nappes phréatiques et de surface (fleuve et marigot) de divers sites du Sine Saloum.

Les résultats révèlent une grande diversité des nappes, avec des pH compris entre 2,7 et 7,3 et des C.E_n entre 0,31 et 230 mS/cm (25°C). Dans les sols de tannes nus sursalés inondables (S1.P7, S1.P8, S1.P12, S2.P8, S2.P9, S2.P12 et S2.P21) toutes les nappes sont caractérisées par une salinité extrêmement élevée avec une C.E_n comprise entre 177 et 230 mS/cm, soit 2,85 à 5 fois celle de l'eau de mer.

Quant aux nappes des sols des tannes localement couverts et non inondables par les eaux sursalées des cours d'eau (S1.P14, S2.P11, S2.P19, S2.P20, ER.T12 et ER.T13 et Z1.P43), leur C.E_n comprise entre 42,6 et 60 mS/cm, est peu différente de celle de l'eau de mer (46 mS/cm).

Par contre celles des sols de tannes sur glacis de raccordement et sur terrasses hautes sont caractérisées par des C.E_n inférieures à 30 mS/cm. Toutefois on note une exception de quelques nappes (S2.P10, ER.T9, ER.T10 et ER.T11) dont la C.E_n est sensiblement comparable à celle des sols de tannes nus et peu couverts inondables ou non. Cette salinité anormalement élevée - ces milieux restent engorgés d'eau de pluies pendant l'hivernage - serait due à l'alimentation de ces nappes par le bas à partir des eaux sursalées des cours d'eau, compte tenu de leur proximité du marigot.

La composition géochimique révèle les mêmes faits que dans les sols, entre la concentration des éléments et la conductivité électrique. Cl⁻ et Na⁺ sont les principaux éléments, représentant respectivement, 70 à 93% des anions et 67 à 78% des cations.

Les eaux des nappes des sols sursalés présentent des concentration très élevées comprises entre 2650 et 5460 meq/l pour Cl⁻, et entre 2340 et 4100 meq/l pour Na⁺, soit 5 à 10 et 5,8 à 8,4 fois supérieures à celles de l'eau de mer, respectivement.

Tableau 7: Composition géochimique des eaux de marigots et diverses nappes des sols du Sine Saloum.

Origine	pH	C.E	ANIONS (meq/l)			CATIONS (meq/l)			
			Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
S1.P4	3,4	30,2	251,0	82,0	0,0	23,0	80,0	4,8	234,4
S1.P7	2,9	211,0	3980,0	320,0	0,0	33,0	900,0	51,0	3360,0
S1.P8	2,7	230,0	5460,0	720,0	0,0	11,0	1800,0	130,0	4100,0
S1.P9	3,2	177,0	2650,0	243,0	0,0	60,0	555,0	42,0	2340,0
S1.P10	7,3	23,1	195,0	49,0	3,5	26,0	46,0	1,5	180,0
S1.P14	3,0	42,6	410,0	81,0	0,0	19,0	110,0	4,6	375,0
S1.P17	6,4	204,0	3470,0	314,0	1,4	40,0	790,0	62,0	3000,0
S2.P21	3,2	195,0	3210,0	325,0	0,0	40,0	760,0	47,0	2700,0
S2.P20	3,2	47,9	460,0	82,0	0,0	15,0	145,0	4,0	420,0
S2.P19	3,0	47,1	437,0	97,0	0,0	15,0	157,0	4,1	395,0
S2.P18	2,2	10,5	75,0	32,0	0,0	4,8	28,0	1,0	70,0
S2.P17	3,2	18,0	135,0	48,0	0,0	5,2	48,0	1,6	140,0
S2.P12	2,6	205,0	3720,0	332,0	0,0	35,0	900,0	46,0	3030,0
S2.P11	3,0	54,0	530,0	74,0	0,0	25,0	116,0	3,7	475,0
S2.P10	3,4	48,8	480,0	78,0	0,0	77,0	123,0	5,3	400,0
S2.P9	3,1	207,0	3680,0	290,0	0,0	37,0	765,0	64,0	3060,0
S2.P8	3,0	220,0	5200,0	410,0	0,0	20,0	1100,0	11,0	4150,0
S2.P3	3,1	25,2	212,0	49,0	0,0	16,0	62,0	1,9	200,0
ER.T9	6,9	92,0	1410,0	315,0	6,8	48,2	387,0	24,3	1383,0
ER.T10	7,1	78,0	1090,0	261,4	8,4	39,1	340,0	14,3	1009,0
ER.T11	7,8	45,0	510,0	136,4	7,0	34,2	130,0	6,9	470,0
ER.T12	7,1	60,0	740,0	185,3	6,0	53,0	212,0	9,7	645,0
ER.T13	7,3	47,0	550,0	133,8	8,2	29,6	152,5	8,3	500,0
Z1.P2	3,4	15,0	92,0	24,0	0,0	4,4	24,0	2,3	108,7
Z1.P7	3,9	0,3	tr	1,4	0,0	0,3	0,4	0,4	1,7
Z1.P43	6,0	57,8	592,0	28,1	0,2	20,2	125,4	1,0	510,9
Z3.P18	3,0	36,6	244,0	41,7	0,0	13,1	66,8	0,2	239,1
Dangane ¹⁾	7,4	94,5	996,0	37,9	2,6	36,8	193,3	21,8	804,4
NGAN ²⁾	7,1	105,1	1140,0	42,5	2,6	42,2	219,9	24,4	923,9
MER ²⁾	7,9	46,0	550,0	50,6	2,3	13,5	90,0	12,4	490,0

1) Eau de marigot

2) Eau de mer.

Il existe également une bonne corrélation entre le résidu sec et la C.E_n (fig. 32).

$$R.S = 1,6 \times C.E_n - 31,57 \quad (\text{Eq. 2})$$

où

R.S = résidu sec, en g/l

C.E_n = conductivité électrique mesurée à 25°C, donnée en mS/cm.

Coefficient R = 0,99.

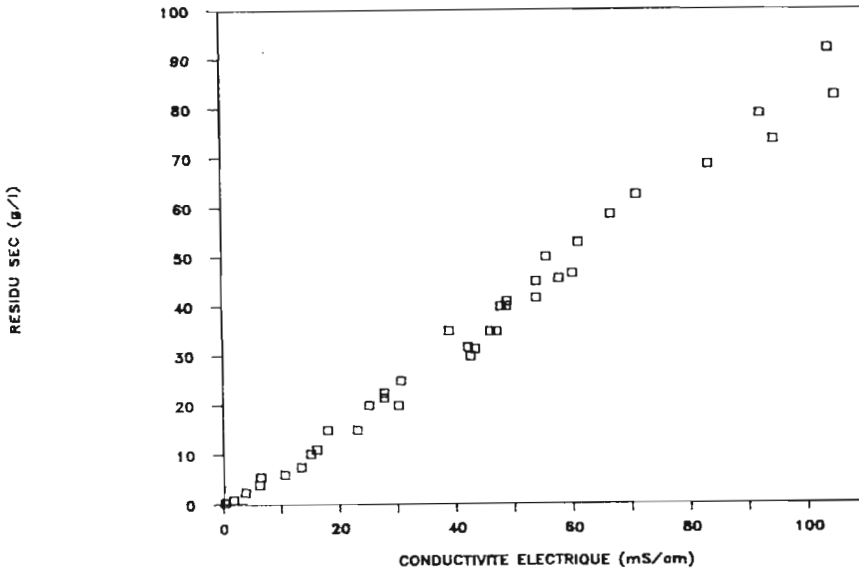


Figure 32: Relation entre conductivité électrique (C.E.) et résidu sec des nappes phréatiques.

5.4.3 Variation spatiale de la salinité

5.4.3.1 Variation verticale et horizontale de la salinité du sol

Les différences de C.E., révélées par les sols et par les horizons d'un même profil mettent en évidence une variation bidimensionnelle - horizontale et verticale - de la salinité.

Dans le sens vertical, la variation serait liée à la dynamique des remontées capillaires, aux fluctuations de la nappe et à la nature des matériaux du sol. Elle est illustrée par les figures 11, 17 à 21 et 23.

La relation entre la C.E., et la fraction fine (argiles et limons fins) du sol montre une faible corrélation, avec un coefficient $R = 20$.

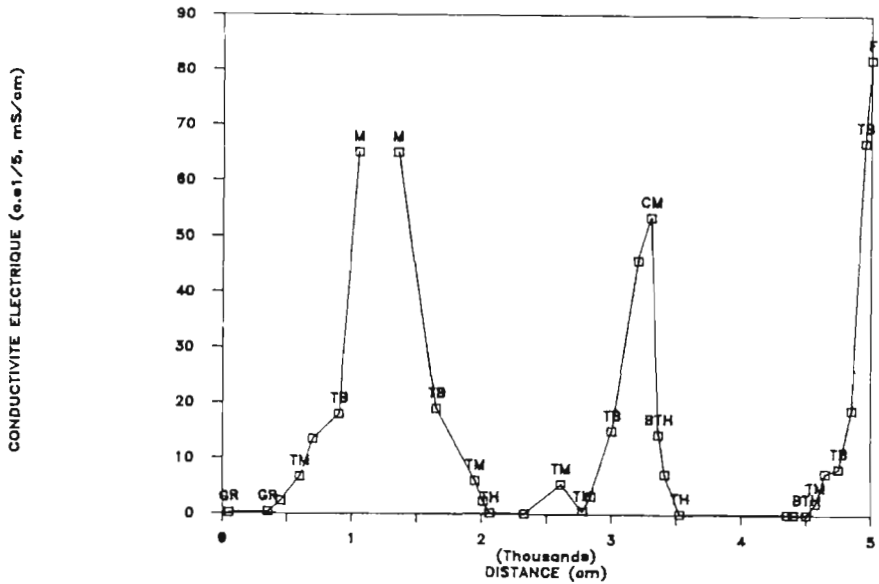
Elles sont liées par :

$$C.E_s (mS/cm) = 0,03 \times (A + Lf \%) + 1,33 \quad (\text{Eq. 3})$$

- A et Lf = respectivement, argiles (%) et limons fins (2-20 μ) (%).

Les différences de C.E., d'échantillons provenant de divers sols révèlent une grande variabilité spatiale de la salinité. La variation spatiale

de la salinité (fig. 33) est un phénomène assez courant traduisant une grande dynamique des sels dans les milieux salés (Bresler et al., 1984; Boivin, 1984). Elle est étroitement liée à la succession des unités géomorphologiques. C'est ainsi que tous les sols situés dans les terrasses basses et moyennes inondables par les eaux du marigot ou du fleuve sont caractérisés par une forte salinité exprimée par des C.E., nettement supérieures à 10 mS/cm, alors que ceux des terrasses hautes et du glacis de raccordement ne sont affectés de manière significative par la salinité qu'en profondeur.



T.H. terrasse haute
T.B. terrasse basse
T.M. terrasse moyenne

BTH: Bordure de terrasses hautes
G.R. Glacis de raccordement
C.M. Chenal de marée.

Figure 33: Variation spatiale de la salinité du sol le long de la séquence S2.

Ces faits semblent montrer que dans ces milieux la variation et le niveau de la salinité seraient essentiellement dues à l'influence de la topographie et de l'hydrologie. La texture n'interviendrait qu'au niveau du profil pour différencier les sols ou les horizons.

5.4.3.2 Evolution géochimiques et variation spatiale de la salinité des eaux de nappes

L'origine marine des sels et le caractère chloruro-sodique de la salinité nous amènent à étudier l'évolution des rapports caractéristiques entre les éléments majeurs et le chlore (Cl^-) par rapport à l'eau de mer.

Les figures 34 et 35 présentent les variations de la C.E_n et des rapports des nappes le long des séquence S2. On constate que:

- $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$: de l'ordre de 0,1 dans l'eau de mer, est 3,3 à 4,6 fois plus élevé dans les nappes des sols sur terrasses moyennes (S1.P4, S2.P17 et S2.P18) et 2,2 à 1,7 fois supérieur dans celles des sols sur glaciis de raccordement à *Combretum glutinosum* et *Borreria verticillata* (S2.P3, ER.T9, ER.T10, ER.T11, ER.T12, ER.T13) et sur terrasses hautes à *Acacia seyal* (S1.P13). Dans les tannes nus des terrasses basses et moyennes le rapport reste voisin ou légèrement supérieur à celui de l'eau de mer. Le deuxième fait frappant est la nette diminution du rapport dans l'eau du marigot de Ngan où il est de 0,04.

L'augmentation du rapport dans les premiers invite à croire à une perte relative de chlorures par rapport aux sulfates qui seraient maintenus et recyclés dans le milieu. En effet pendant l'hivernage l'infiltration des eaux de pluies dans le sol provoque à la fois une dilution des nappes et un entrainement des chlorures hors du système. La forte diminution du rapport dans l'eau du marigot milite en faveur d'un recyclage des sulfates dans le milieu.

- $\text{Ca}^{2+}/\text{Cl}^-$: de l'ordre de 0,03-0,04, ne révèle des variations significatives que dans les nappes des sols sur terrasses hautes formées sur des amas de coquilles (S1.P13 et S2.P10) où il atteint 0,13-0,16 et dans les terrasses moyennes (S1.P7, S2.P9), terrasses basses (S1.P20, S2.P21) et chenaux de marée (S2.P12) avec un rapport de 0,01. Ceci traduit dans le premier cas le maintien dans le milieu du calcium libéré lors de la dissolution des coquilles d'huitres, alors que dans le deuxième cas le calcium serait repris par les sulfates (SO_4^{2-}) pour précipiter sous forme de gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), révélé par la présence de cristaux et de filons dans certains profils et par les diffractogrammes des rayons X.

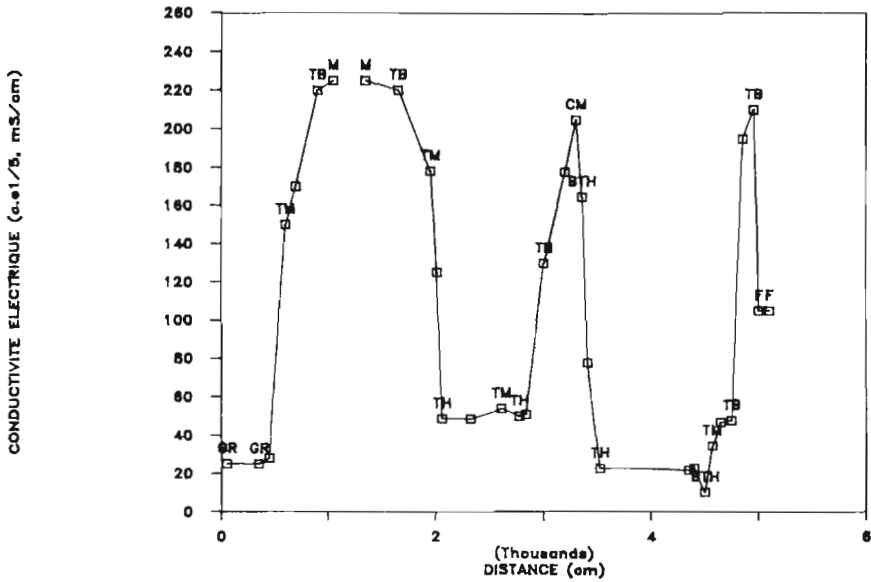


Figure 34: Variations de la C.E_n des nappes phréatiques le long de la séquence S2.

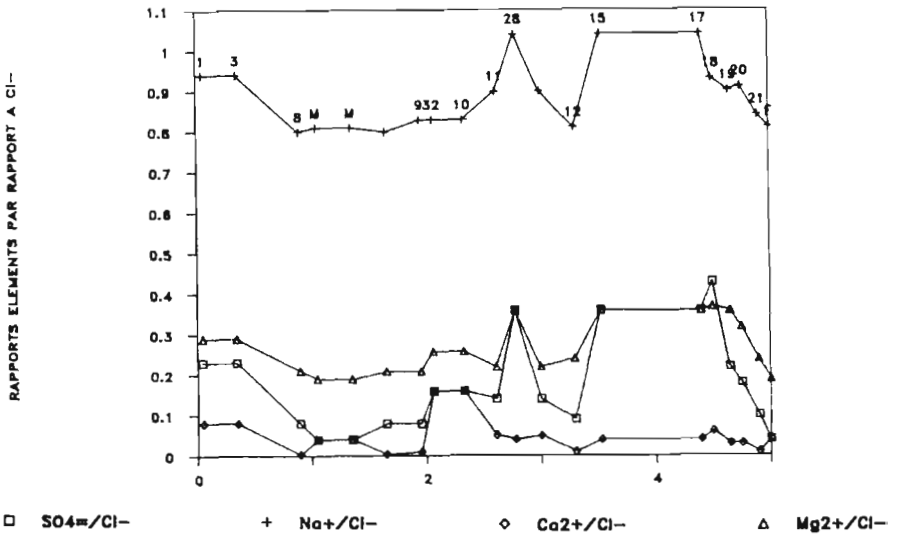


Figure 35: Variations des rapports entre éléments majeurs et Cl⁻ le long de la séquence S2.

- Mg^{2+}/Cl^{-} : 0,16 dans l'eau de mer, il a doublé ou triplé dans tous les sols. Il est plus élevé (0,33 à 0,36) dans les tannes à végétation que dans les autres. Il reste le même dans l'eau du marigot de Ngan.
- K^{+}/Cl^{-} : de l'ordre de 0,02 dans l'eau de mer, ce rapport a diminué de moitié dans la presque totalité des nappes sauf dans les tannes vasières et le marigot de Ngan. Cette diminution serait à rapprocher avec la mobilité du potassium (K^{+}) qui aurait tendance à être recyclé dans les minéraux argileux du sol ou soustrait du système dans certains cas. Ils reste le même dans tous les sols le long de la séquence.
- Na^{+}/Cl^{-} : de l'ordre de 0,85 à 0,89 dans l'eau de mer, il reste plus ou moins constant dans la quasi-totalité des nappes, ce qui montre encore une fois l'étroite corrélation entre ces deux éléments. Néanmoins on constate une augmentation anormale du rapport dans la nappe du profil S2.P17 où il atteint 1,04.

Le comportement de ces rapports permet de dire que les nappes des tannes à végétation herbacée et arbustive (glacis de raccordement, terrasses moyennes et hautes) présentent une évolution par perte des chlorures par lessivage sous l'influence des eaux d'infiltration. En effet les éléments majeurs dosés dans les extraits des sols prélevés de ces zones, révèlent la même tendance évolutive. Quoique plus concentrées que celle de la mer, les eaux du marigot et du fleuve gardent leur caractère marin, avec à peu près les mêmes rapports ioniques.

5.4.4 *Dynamique d'évolution saisonnière de la salinité*

5.4.4.1 Salinité du sol

La variation de la salinité est nettement influencée par les conditions pédoclimatiques et géochimiques du milieu. La figure 36 illustre les variations de la salinité de quelques sols en fonction du temps.

Durant la saison sèche la salinité augmente progressivement du mois d'octobre à juin où elle atteint son maximum. Par contre pendant la saison des pluies la recharge hydrique du sol provoque la diminution de la salinité par dilution de la concentration des sels qui sont lessivés en pro-

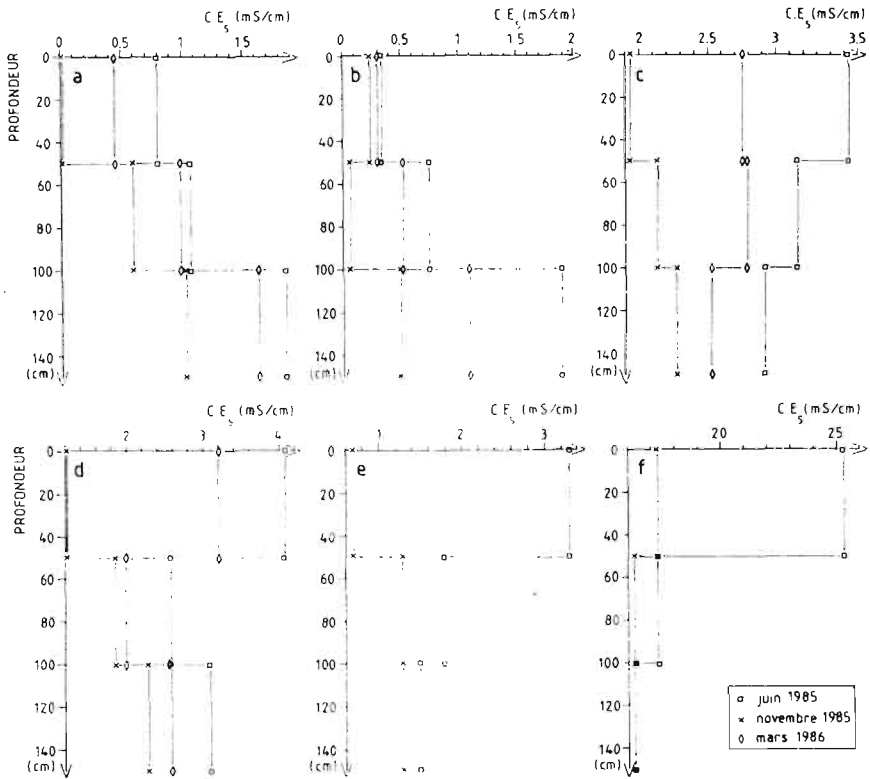


Figure 36: Variation saisonnière de la salinité dans quelques sols.
a: PI; b: PII; c: PIII; d: PIV (chap. 10).

fondeur ou hors du système. Le dessalement du sol dépend non seulement de la texture du matériau, mais surtout de la salinité atteinte à la fin de la saison sèche.

Ces variations verticales saisonnières de la salinité sont responsables du processus de salinisation du sol par migration verticale décrit dans la section 5.4.5.1.

5.4.4.2 Salinité des nappes et des eaux de surface

Comme dans le cas du sol, la salinité des eaux des nappes et des eaux de surface (marigot et fleuve) est soumise à des variations saisonnières. Les suivis menés entre 1984 et 1988 à partir de tubes piezométriques

installés dans le site d'essai de Ngan et de Keur-Mactar (chap. 8 et 10) nous ont permis de mettre en évidence les fluctuations saisonnières de la profondeur et de la C.E_n (fig. 37) au cours de l'année.

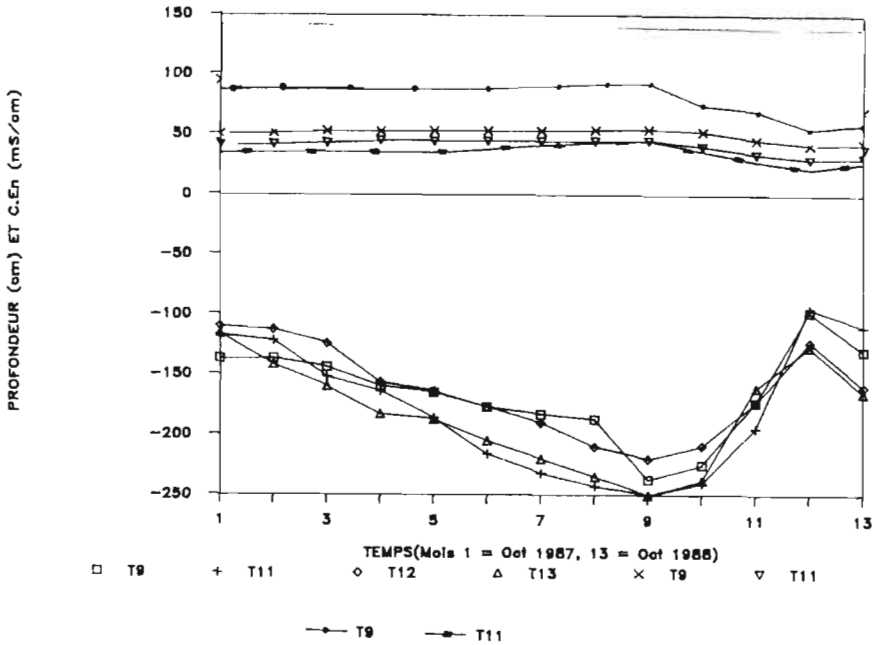


Figure 37: Variation saisonnière de la salinité et profondeur des nappes phréatiques dans quelques sols.

Deux tendances inverses illustrent ces fluctuations:

- une forte diminution de la salinité pendant l'hivernage, corrolée à une remontée de la nappe près de la surface pendant la saison des pluies (juillet à septembre);
- une augmentation de la salinité pendant la saison sèche qui atteint son maximum vers fin juin, accompagnée d'un abaissement en profondeur du

niveau de la nappe.

Selon les cas, l'amplitude de la variation de la profondeur se situe entre 0,50 et 1 m. Pendant l'hivernage la salinité diminue grâce à l'infiltration des eaux de pluies dans le sol qui lessivent les sels. La vitesse de dilution de la concentration des sels dépend de la perméabilité du sol. Ainsi les nappes des sols à texture grossière (sableuse ou limons grossier) très perméables manifestent une nette tendance à se dessaler en hivernage. Durant la saison sèche (octobre à juin) les phénomènes de concentration des sels dans la solution dominant à cause de l'évaporation par remontée capillaire.

La comparaison de la salinité des nappes avec celle des eaux du marigot et de la solution du sol révèle un dessalement plus important et plus rapide de ces dernières pendant l'hivernage alors que leur C.E est sensiblement identique à la fin de la saison sèche. Cette différence met en évidence une faible influence des eaux de pluies sur le dessalement des nappes, due au fait qu'elles sont essentiellement ruissellées vers le marigot et à la lente reconstitution des réserves hydriques du sol. Ainsi une pluie de 21,9 mm tombée le 18 août 1988 a provoqué une diminution de la salinité du marigot de Ngan de 77 à 50 mS/cm, alors qu'en même temps la solution du sol et de la nappe phréatique passent, respectivement, de 40 à 38 mS/cm et de 86 à 80 mS/cm sur un sol sablo-argileux (fig. 38).

Durant toute la période de suivi (1984-1988) la C.E des nappes n'est jamais tombée en-dessous de 46 mS/cm, montrant ainsi leur forte salinité permanente.

5.4.5 Processus de salinisation actuelle des sols

La salinisation qui affecte actuellement ces sols se fait par trois processus fondamentaux: a) accumulation des sels dans le profil et à la surface du sol; b) progression spatiale du front de salinité par inondation et c) accumulation d'apports éoliens salés.

5.4.5.1 Salinisation du sol par remontée capillaire

Pendant toute la saison sèche les fortes températures (25 à 45°C) qui règnent à la surface et dans le sol, en provoquant l'évaporation de la

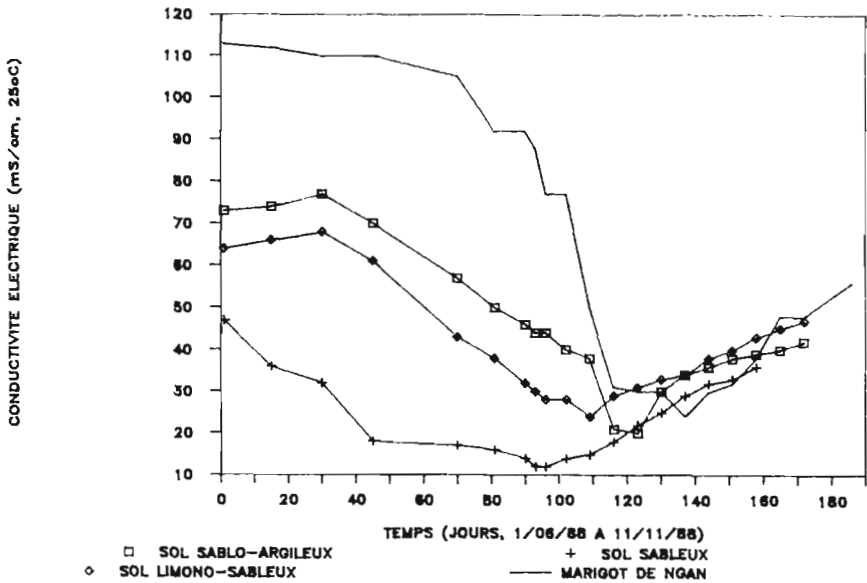


Figure 38: Variation saisonnière des eaux du marigot de Ngan et de la solution du sol dans quelques sols.

solution du sol, entraîne une concentration des sels et par conséquent une augmentation de la salinité.

Les nombreux travaux relatifs à la dynamique de salinité du sol (Richards, 1954; Durand, 1956; Bresler et al., 1982; Bresler, 1981; Talsma, 1981; Cheverry, 1974; Dielman, 1972; Konikov, 1981) montrent que la migration des sels par remontée capillaire de l'eau du sol et des nappes dépend de la nature et de la concentration des ions. La grande mobilité de l'ion Cl^- et de Na^+ (Bresler et al., 1982, Szabolcs, 1989; Bolt, 1978) expliquerait les fortes concentrations des sels que l'on remarque à la surface des sols. Ces migrations constituent donc le principal processus de salinisation des sols des tannes non inondés par les eaux des cours d'eau.

L'accumulation des sels dans le profil dépend non seulement de la dynamique ascendante de la solution du sol, mais surtout de la C.E_n et de la profondeur de la nappe (Pankova et al., 1983), comme l'a révélé la forte salinité des sols de certaines terrasses moyennes et basses non inondables.

Les mouvements descendants de l'eau de pluies entraînent un dessalement

pendant l'hivernage, mais depuis l'installation de la sécheresse le flux migratoire demeure ascendant pendant 8 à 9 mois dans l'année, maintenant ainsi la sursalure des sols.

Lorsque le milieu fonctionne en système fermé (tannes nus des terrasses basses et de certaines terrasses moyennes), les sels sont recyclés en permanence dans le profil, même après un entraînement en profondeur. Cependant en système ouvert, la salinité du sol peut diminuer par lessivage oblique des sels hors du milieu (sols sur glacis de raccordement et terrasses hautes).

5.4.5.2 Salinisation par inondation du sol par les eaux sursalées des cours d'eau

La salinisation par inondation des sols par les cours d'eau (photo 5) paraît le processus le plus important qui entraîne l'augmentation de la salinité des sols et des nappes dans les tannes inondables. Ce processus est assez courant et très actif sur les terrasses basses, les anciens chenaux de marée et les terrasses moyennes inondables. Les nombreuses ramifications du réseau hydrographique et la faible altitude de ces zones favorisent ce processus qui s'est amplifié depuis l'installation de la sécheresse quasi-permanente à cause du maintien de la salinité, 2 à 3 fois supérieure à celle de l'eau de mer pendant presque toute l'année. Les inondations successives se traduisent par des apports de sels qui cristallisent sous l'effet de l'évaporation à la surface du sol en formant des couches épaisses (3 à 5 cm) à structure poudreuse de type "moquette" (Marius, 1985) que l'on rencontre dans les tannes nus des terrasses moyennes et basses.

L'extension spatiale de ce processus dépend de la puissance des marées et de la déclivité du terrain. Pendant la période de mortes-eaux seuls les rivages immédiats des cours d'eau sont inondés, alors qu'en période de marées moyennes et hautes, les eaux atteignent les terrasses basses et moyennes.

En passant des zones du glacis au fleuve (fig. 24) ce processus devient le plus dynamique de la salinisation des sols.

Depuis l'installation de la sécheresse ce processus a entraîné la salinisation des nappes dont les sens de l'écoulement a été inversé, se

faisant actuellement des tannes vers le plateau.

5.4.5.3 Salinisation par accumulation de limons salés éolisés

Les vents de l'harmattan qui soufflent dans la zone durant toute la saison sèche avec des vitesses comprises entre 2 et 5 m/s exercent une forte dynamique sur les transformations morphologiques des unités du paysage. En effet, les particules fines salées (limons et argiles) arrachées des tannes nus sont transportées et accumulées à la limite et à l'intérieur des tannes à végétation herbacée et arbustive et sur les bordures des forêts des terrasses hautes entourées par les tannes nus.

L'analyse des accumulations révèlent une salinité 2 à 3 fois plus élevée que celle du sol au-dessous. La discontinuité morphologique et granulométrique entre les matériaux apportés et le sol en-dessous prouve qu'il s'agit effectivement d'éléments éolisés. Les suivis que nous avons menés sur un tanne localement couvert et une forêt d'*Acacia seyal* dans les tannes de Ngan, entre février et juin 1987, ont confirmé l'origine éolienne de ces accumulations. L'action des vents a abouti à la formation de couches de 5 à 7 cm d'épaisseur dont la C.E_s varie entre 1,5 et 3 mS/cm contre moins de 1 mS/cm dans les horizons sous-jacents et les zones non ou peu affectées par ces accumulations.

Dès les premières pluies (juillet) ces couches ont été presque entièrement dissoutes par les eaux, entraînant ainsi la pénétration des sels dans le sol. Après 7 à 10 jours de sécheresse la zone se distinguait du reste par l'apparition d'efflorescences salines de couleur blanchâtre. C'est ainsi que dans toutes les zones où ce phénomène a été constaté le sol présente une salinité plus élevée que celle des autres.

La disparition progressive de la végétation sous l'effet de la salinité et l'extension spatiale du front de salinité procèderaient par le biais de ce processus qui paraît actif dans toutes les zones couvertes de végétation et situées à l'intérieur des tannes nus non inondés.

5.4.6 Cristallisation des sels minéraux

Les sels remontés par capillarité dans la solution du sol et par les eaux de nappes et des cours d'eau précipitent en sels minéraux dans le sol

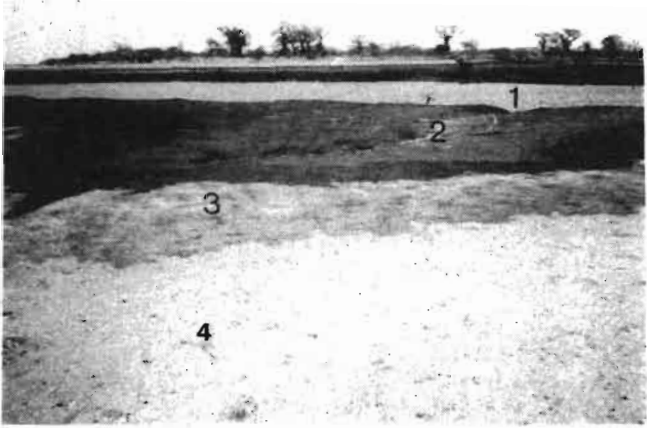


Photo 5: Salinisation des sols par inondations par le marigot de Ngan. 1: eau du marigot; 2: partie humide inondée; 2: partie inondée en voie de dessèchement; 4: partie non inondée présentant des sels cristallisés.

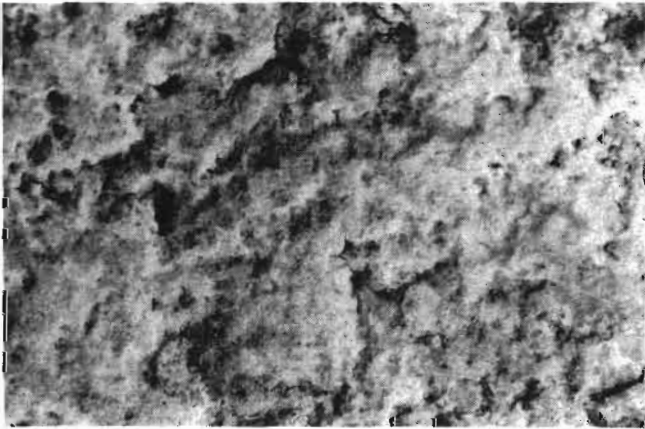


Photo 6: Sels minéraux cristallisés à la surface du sol S.5 (P,IV (tab. 8)).

et en surface (photo 6).

La diffraction de rayons X réalisée sur des croutes et poudres de sels prélevées de la surface et d'horizons de quelques types de sols a permis de déterminer les sels minéraux.

Les résultats (tab. 8) révèlent des différences minéralogiques entre les échantillons provenant des terrasses basses et ceux des terrasses moyennes.

La halite (NaCl) constitue le principal sel minéral qui précipite à la surface. Elle est plus importante dans les échantillons S1.P7, S4.PIII, S5.PIV, S7.PIV, S8.PIV et S12.PV. Les échantillons S11.PV et S13.PV se distinguent par la faible présence ou l'absence de la halite.

La bloedite ($\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) constitue le deuxième sel minéral le plus répandu que l'on rencontre dans la plupart des échantillons. Cependant sa présence n'est significative que dans les échantillons S2.P21, S6.PIV et S8.PIV. On ne la trouve pas dans les échantillons S9.PV, S10.PV et S13.PV.

Parmi les autres sels minéraux Eugstérite ($\text{Na}_4\text{Ca}(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) est plus fréquent et caractérise les échantillons S6.PIV, S7.PIV et S8.PIV. Le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) n'est représenté que dans les échantillons S5.PIV, S4.PIII et S8.PIV (sous forme de traces), alors que le konyaite ($\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) n'est présent que dans l'échantillon S9.PV. Eugstérite et Konyaite trouvés pour la première fois dans les bassins du Kenya et du Konya (Turquie) (Vergouwen, 1981; Van Doesburg et al., 1982), semblent caractéristiques des milieux salés sulfatés riches en magnésium et calcium (tab. 5.2, An. III) à forte évaporation.

La présence quasi-exclusive de la halite dans les échantillons des sols sulfatés acides à jarosite jeune et à taches jaunâtres, d'une part, et des 5 types identifiés dans les sols maturés à taches et horizons rhodiques (S4.PIII, S5 à S8.PIV) d'autre part, montrent que la précipitation des sels dépend surtout de l'environnement géochimique du milieu de genèse comme l'ont démontré par ailleurs Gupta et al. (1987) et Vergouwen (1981).

La précipitation de sels minéraux essentiellement à base de sulfates dans ces sols, correspond aux résultats trouvés par Gueddari (1984) et Droubi (1976) dans des expériences de simulation d'évaporation de solutions salées sulfatées.

Tableau 8: Composition minéralogique de croutes de sels précipités à la surface de quelques sols sulfatés acides salés.

Echantillons	Origine	SELS MINÉRAUX				
		Halite	Bloedite	Eugstérite	Gypse	Konyaite
S1.P7 S1.P9 S2.P21	Ter- rasse	+++ ++ ++	+ (+) ++	+ 	 	
S4.PIII S5.PIV 1) S6.PIV S7.PIV S8.PIV S9.PV 2) S10.PV S11.PV S12.PV S13.PV	Ter- rasse moyenne	+++ ++++ ++ +++ +++ ++ ++ + +++	+ + ++ + ++ (+) (+)	 ++ (+) ++ 	(+) + (+) +	 ++

1) - S5.PIV à S8.PIV proviennent du même endroit.

2) - S9.PV à S13.PV proviennent du même endroit.

Bloedite : $(\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O})$

++++: très nombreux

Eugstérite: $(\text{Na}_4\text{Ca}(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$

+++ : nombreux

Konyaite : $(\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$

++ : peu nombreux

Halite : NaCl

+ : faible

Gypse : $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

(+) : trace

5.5 Le soufre et l'acidification des sols

La quasi-totalité des sols sont affectés par la présence du soufre. Son action sur la pédogenèse dépend de sa teneur et des conditions de l'environnement chimique du milieu réactionnel.

5.5.1 Origine du soufre

Dans le domaine fluvio-marin du Sénégal, comme dans toutes les zones côtières où on trouve les sols sulfatés acides (Pons, 1964; Van Breemen, 1976; Pons et al., 1982; Dent, 1986), l'origine du soufre contenu dans ces sols est essentiellement marine. Il résulte des périodes de transgressions marines (chap. 3) et des inondations par les marées.

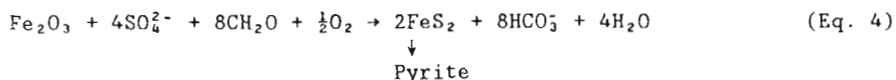
5.5.2 Formation de la pyrite

Différentes formes du soufre ont été identifiées par les auteurs (Van Beers, 1962; Pons, 1964; Pons and Kevie, 1969; Van Breemen, 1976 et 1988a): sulfates solubles (SO_4^-), sulfures (H_2S), soufre élémentaire (S^0), sulfures de fer ferreux amorphes (FeS), mackinawite (FeS tétragonal), greigite (Fe_3S_4 , cubique), pyrite (FeS_2 , cubique).

De toutes les formes ferreuses, la pyrite paraît la plus commune de la plupart des sols sulfatés acides (Van Breemen, 1976 et 1988a; Dent, 1986). Dans les sédiments des marais tidaux, sa concentration est de l'ordre de 1 à 5% (en poids) (Van Breemen, 1976). Sa dominance sur les autres formes s'explique, d'après Van Breemen (1988a), par l'instabilité thermodynamique de celles-ci. Elle se forme essentiellement à partir des sulfates (SO_4^-) des sédiments, selon des processus biochimiques complexes intégrant les microorganismes, la matière organique et le fer. Selon Van Beers (1962), Van Breemen (1976), Dent (1986) la formation de la pyrite nécessite les conditions suivantes:

- apports de sulfates solubles (SO_4^-) par la mer;
- un environnement réducteurs (Bactérie et matière organique), et temporairement des conditions oxydatives;
- présence de composés mobiles de fer.

Lorsque ces conditions sont satisfaites, en présence de Fe_2O_3 comme principale source de Fe, les réactions chimiques aboutissant à la formation de la pyrite peuvent se résumer d'après Van Breemen (1988a) par l'équation:



où

CH_2O représente la matière organique.

La formation de la pyrite dépend surtout de la quantité de sulfates, matières organiques, de l'importance du fer disponibles dans les sédiments (Van Beers, 1962; Langenhoff, 1986; Ritsema, 1986) et de l'influence marine. Ceci expliquerait, en partie, les faibles quantités de soufre total trouvées dans les sols des terrasses hautes et du glacis de raccordement.

Les divers processus qui ont présidé à la formation du soufre dans les sédiments durant les phases marines et fluvio-marines peuvent se résumer par les réactions de la figure 39.

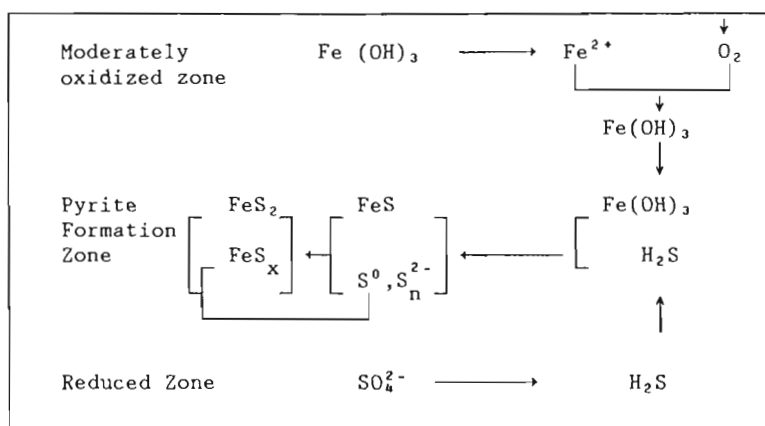
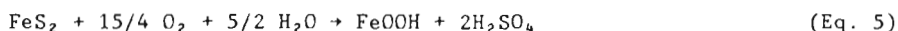


Figure 39: The processes of pyrite formation in mangrove soils (d'après Wada, 1986).

5.5.3 Oxydation de la pyrite et l'acidification des sols

Les diagrammes E_H -pH et du modèle d'oxydation de la pyrite de Van Breemen (1976, 1988a) montrent que la pyrite n'est stable que dans des conditions fortement réductrices. Lorsque le milieu devient oxydant c'est-à-dire plus drainé, elle est transformée par oxydation en divers produits par des réactions biochimiques complexes qui peuvent être résumées, d'après Nordstrom (1982), comme suit:



Les produits de cette oxydation varient selon le milieu, l'importance et la nature des agents réactifs (O_2 , Fe^{3+} , bactéries oxydantes). Les plus communs sont: oxydes de fer Fe(III), jarosite, lépidocrocite, goethite et hématite.

Comme le fait remarquer Dent (1986) les diverses réactions d'oxydation de la pyrite ne se déroulent pas en même temps ni avec la même importance dans les différents milieux; ceci expliquerait la diversité des sols sul-

fatés acides des tannes du Sine Saloum. Elles se sont traduites en terme de pédogenèse par les principaux processus ci-dessous.

5.5.3.1 Formation des sols sulfatés acides à jarosite jeune

Ces sols sont caractérisés par leur abondance en soufre total compris entre 1 et 4% (en poids) et par la présence de taches de jarosite de couleur jaune pâle (2,5Y 7-8/4-8). Leur localisation au voisinage des sols potentiellement sulfatés acides saturés d'eau et la présence en profondeur d'horizons peu oxydés révélés par des E_H faibles à très faibles (tab. 5) et par la présence de pyrite (chap. 4) montrent qu'il s'agit de sols jeunes. En effet une bonne partie du soufre des horizons profonds est sous forme de pyrite alors que dans la partie supérieure, il est totalement oxydé (fig. 40). Le fer total est dominé par le fer libre (fig. 41).

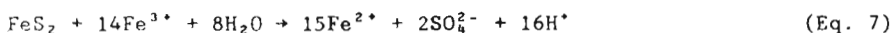
La coexistence de la jarosite et de la pyrite montre que les conditions de l'environnement bio-géochimique sont favorables au maintien de la pyrite. D'après Van Breemen (1988a) dans de telles conditions de pH relativement bas le fer n'est pas oxydé; il se formerait un mélange de sulfates ferreux dissouts (Fe(II)) et d'acide sulfurique, selon la réaction:



La saturation en eau du milieu et la sursaturation limitant, respectivement, la diffusion de l' O_2 et l'activité des microorganismes (Hesse, 1971; ArKesteyn, 1980) seraient à l'origine du blocage de l'oxydation de la pyrite. Pulford et al. (1986) observent le même blocage de l'oxydation de la pyrite en présence de métaux lourds dans des mines de charbon aux U.S.A.

La présence des taches le long des chenaux racinaires dans les horizons contenant encore de la pyrite pourrait s'expliquer, d'après Van Breemen (1988a), par la précipitation d'oxydes Fe(III) pseudomorphes grâce à la diffusion de l' O_2 . Celui-ci provoquerait la libération de Fe^{3+} dont la mobilité est affaiblie dans de telles conditions du milieu (Van Breemen, 1988b; Brinkman, 1979).

Dans la partie supérieure du profil le drainage relativement plus important entraîne la poursuite de l'oxydation selon la réaction (Van Breemen, 1988a):



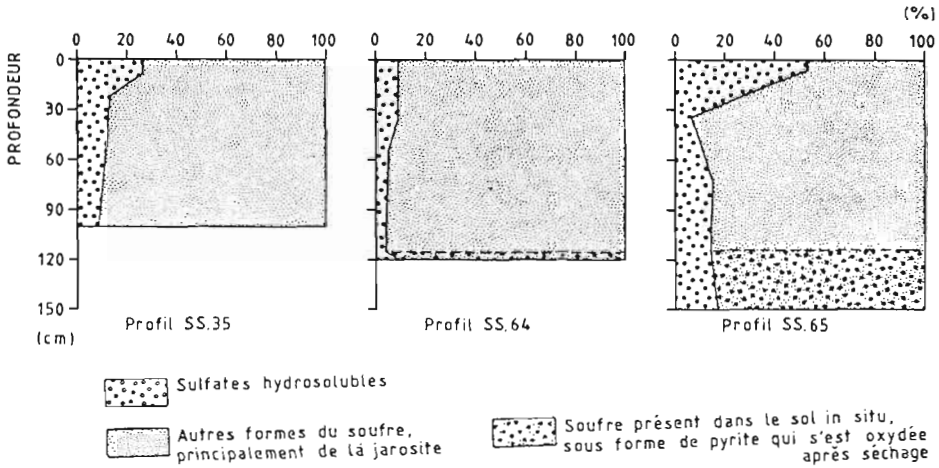


Figure 40: Variations des sulfates hydrosolubles et des autres formes du soufre (en % soufre total) en fonction de la profondeur, dans les sols à jarosite jeune sursalés.

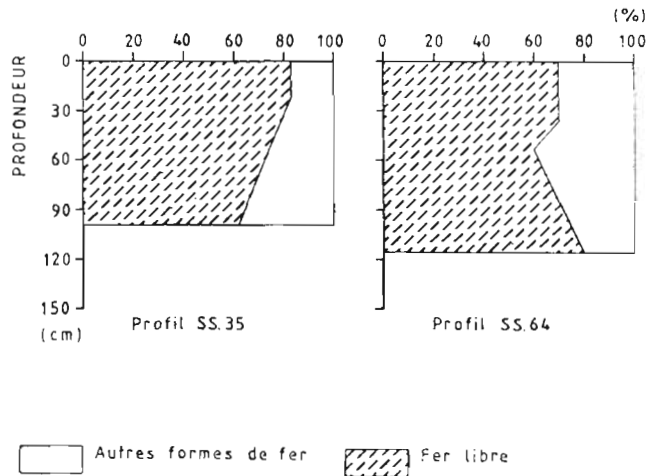
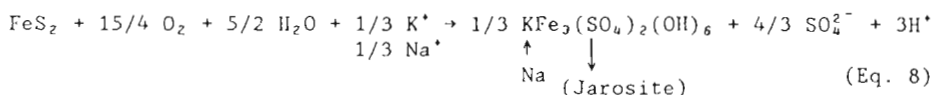
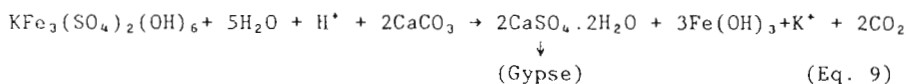


Figure 41: Variation du fer libre (en % du fer total) en fonction de la profondeur, dans les sols sulfatés acides sursalés à jarosite jeune.

La neutralisation continue de Fe(III) par les éléments minéraux tels que K^+ et Na^+ fournis par le sol et les sels conduit à de fortes concentrations de complexes de $Fe(OH)_2^+$ et à la formation de la jarosite selon la réaction:



Dans les zones des terrasses basses et des chenaux de marée situées près des terrasses hautes à matériaux coquilliers (SS.65, SS.60 et S2.P12) la neutralisation de l'acidité par les carbonates de calcium ($CaCO_3$) aboutit à la formation de gypse, selon la réaction:



Le gypse ainsi formé se concentre préférentiellement en profondeur (SS.65 et SS.60, tab. 9). Dans la partie supérieure et médiane du profil SS.65, la forte concentration de Ca^{2+} et SO_4^{2-} a provoqué la précipitation de gypse sous forme de filons et de paillettes.

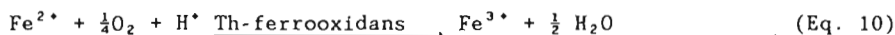
Les particularités des conditions géochimiques des milieux réactionnels ont ainsi conduit à l'oxydation de la pyrite avec comme principaux produits, soit uniquement de la jarosite dans SS.35 et SS.64, soit de la jarosite et gypse dans SS.60 et SS.65.

5.5.3.2 Formation des sols à jarosite évoluée par hydrolyse acide

Ces sols sont caractérisés par la présence de taches de jarosite évoluée due à l'influence des conditions du milieu plus oxydant (Fe(III), bactéries) qui entraînent l'hydrolyse de la jarosite formée par l'Eq. 8 qui passe du jaune pâle au jaunâtre à orange par deux processus fondamentaux: oxydation complète et profonde de la pyrite et hydrolyse acide de la jarosite.

Cela est dû au fait qu'au fur et à mesure que le milieu devient plus sec, la pyrite est oxydée progressivement sous l'influence des *Thiobacillus ferrooxidans*, de O_2 et Fe^{3+} . Dans ces milieux caractérisés par une alternance de saturation d'eau et de dessiccation Fe^{3+} serait produit

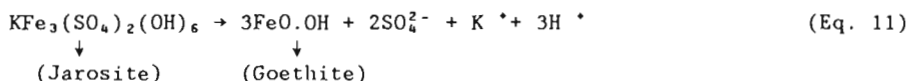
continuellement par l'oxydation de Fe^{2+} (Brinkman, 1979; Van Breemen, 1988b et c.). Les *Thiobacillus ferrooxidans* acidotélérants interviendraient lorsque le pH est inférieur à 3,5 pour assurer la libération de Fe^{3+} par l'oxydation de Fe^{2+} par l'intermédiaire de O_2 (Arkesteyn, 1980).



La libération continue de Fe(III) favorise ainsi la poursuite de l'oxydation de la pyrite.

Les sols à taches jaunâtres (10YR 6-8/6-8) seraient probablement formés par l'hydrolyse de la jarosite en lépidocrocite. Le dessèchement relativement plus important de ces sols explique l'oxydation totale de la pyrite sur une profondeur supérieure à celle des sols à jarosite jeune et l'évolution plus marquée de la jarosite.

Lorsque les conditions du milieu deviennent plus drainantes, par conséquent plus oxydantes, avec des pH très acides ($< 4,0$), la jarosite est hydrolysée en goethite (FeOOH) (Van Breemen, 1976) selon la réaction:



Le soufre et le fer sont totalement oxydés, comme le montrent les figures 42 et 43. Ce dernier se trouve essentiellement sous forme libre.

Cette hydrolyse aboutit à la formation de taches ocre-jaunâtres, oranges et ocre-rougeâtres caractéristiques des sols à taches ocre-rougeâtres.

Lorsque le drainage est parfait et en conditions lixiviantes ou de sur-salure (SS.59, S1.P2, S2.P2 et S2.P14) l'hydrolyse se traduit par la présence en surface de concrétions ferriques et d'horizons d'accumulation d'oxydes de couleur rouges (10R ou 2,5YR) comparables à l'hématite, observés dans les sols sulfatés acides rhodiques et dans les sols sulfatés acides hydromorphes.

L'hématite se formerait selon la réaction:



Les diffractions de RX réalisées sur certains sols rhodiques ont révélé des traces de pics attribuables à l'hématite sur les échantillons normaux. Cependant le chauffage à 900°C a fait apparaître dans les horizons rhodi-

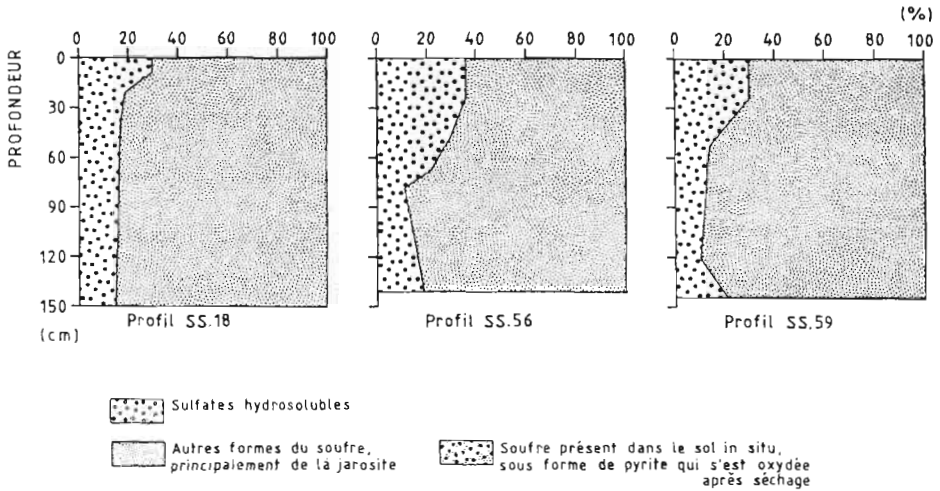


Figure 42: Variation des sulfates hydrosolubles et des autres formes du soufre (en % soufre total) en fonction de la profondeur, dans les sols sulfatés acides à taches et horizons rhodiques.

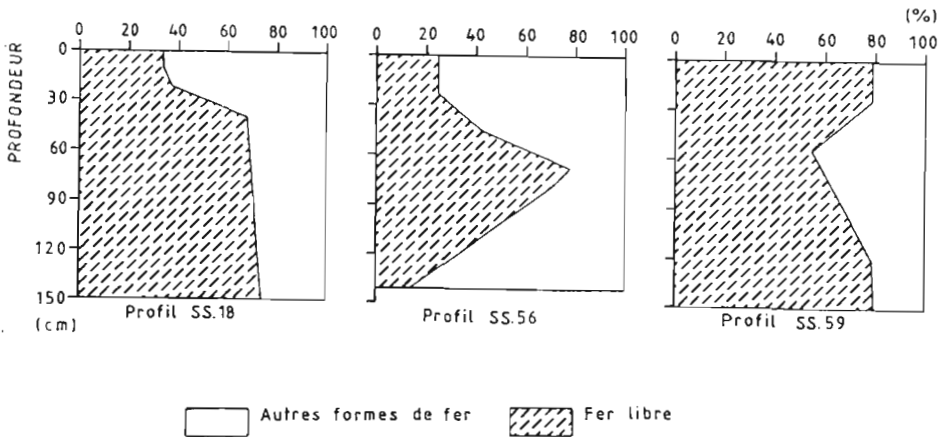


Figure 43: Variation du fer libre (en % du fer total) en fonction de la profondeur, dans les sols sulfatés acides à taches et horizons rhodiques.

ques des profils SS.59, SS18 et SS.56 (tab. 9) des pics attribuables à l'hématite (Fe_2O_3). Ce comportement semble indiquer qu'il s'agit d'un minéral mal cristallisé chargé d'eau, donc tout simplement un hydroxyde ferrique. La couleur rouge de cet hydroxyde serait à rapprocher avec la précipitation des oxydes de fer en présence de fortes concentrations en sels solubles. Il n'est pas exclu que ce soit de l'hématite malgré son hydratation, car d'après Schwertman (1988).

Tableau 9: Eléments oxydes (%) et présence de la pyrite et des produits de son oxydation dans quelques échantillons de sols sulfatés acides sursalés à jarosite jeune et sols sulfatés acides à taches et horizons rhodiques.

Echantillons	pH eau(1:2,5)	PRODUITS D'OXYDATION				Pyrite
		Jarosite	Goethite	Hematite	Gypse	
<u>SS.35 (cm)</u>						
0 - 8	6,1	(+)				
8 - 20	3,9	+++				
20 -100	3,7	++++				(+)
<u>SS.60 (cm)</u>						
0- 6	5,4	(+)			++	
6- 30	4,3	++++			+++	
30- 70	3,5	+++				
70-120	3,8	++				++
<u>SS.65 (cm)</u>						
0- 4	6,3	(+)			++	
4- 37	4,1	++			++	
37- 74	3,9	+++			+++	
74-113	3,9	++++			++	
113-150	2,7	++			+	++
<u>SS.18 (cm)</u>						
0- 9	4,5	-				
9- 20	3,8	-	+			
20- 40	3,5	+	++			
40- 72	3,5	++	+++	+		
72-150	3,5	+++				
<u>SS.59 (cm)</u>						
0- 24	3,8		++	(+)		
24- 55	3,7					
55-120	3,6	+++	+			
120-145	3,6	++				

(+): <2%; +: 2-4%; ++: 5-20% +++: 20-50%; ++++: 50-70%

l'hématite ne se forme pas à partir de la déshydratation de la goethite mais par transformation même en conditions d'excès d'humidité.

L'oxydation de la pyrite jusqu'au stade hématite a été observée par Van Breemen (1976) dans des sols acides hydromorphes de Thaïland dans lesquels des taches rouges d'hématite étaient associées à la présence de jarosite et de goethite.

L'oxydation se fait progressivement de la profondeur vers la surface, en fonction du degré de dessèchement du profil.

5.5.3.3 Formation des sols à horizons de couleur marron (7,5YR et 5YR 4/2-3)

Ces horizons sont caractérisés par une très forte acidité, des pH < 4,0, peu de taches de jarosite et des matériaux limoneux fins non maturés. Ils se rencontrent généralement dans des sols évolués chimiquement dans la partie supérieure tels que les sols sulfatés acides à taches ocre-rouge-âtres et les sols à taches et horizons rhodiques.

Leur formation serait due à un blocage de l'oxydation de la pyrite au niveau de la réaction (Eq. 6), comme l'ont constaté Van Mensvoort et al., (1986) dans les sols du Viet Nam. Ce blocage serait dû à certains facteurs limitants, principalement, la matière organique réductrice d'origine tourbeuse - fournie par les racines de *Rhizophora* décomposées - et la saturation en eau (présence de la matière organique et à la finesse des matériaux). Les faibles pH 2,4-2,6 et les E_H relativement élevés, 330-400 mV mesurés sur les sols du Viet Nam par Van Mensvoort et al. (1986) ne permettent que l'oxydation du soufre en sulfates par la réaction (Eq. 6) mais celle-ci ne conduit pas à l'oxydation du fer de la pyrite qui reste ainsi maintenu à l'état réduit sous forme de fer ferreux grâce à la matière organique et la saturation en eau.

La présence de la jarosite dans certains horizons supérieurs à l'origine peu influencés par le soufre, serait due au transport des sulfates de fer Fe(II) produits par les réactions (Eq. 6, 7 ou 8) par diffusion ou par migration de la solution du sol sous l'influence de l'évaporation (Vlek, 1971; Van Breemen, 1975; Carson et al., 1982; Fanning, 1986). Cette dynamique ascendante varie avec la nature des matériaux et les conditions du milieu.

La couleur marron de ces horizons serait due à l'influence de la décomposition des fibres de *Rhizophora* en présence des sulfates.

5.5.4 Acidité du sol et des solutions

Les composés et ions libérés par les réactions (Eq. 6 à Eq. 11) lors de l'oxydation de la pyrite et l'hydrolyse de la jarosite conduisent, généralement, à la formation d'une très forte acidité formée par les ions Al^{3+} , Fe^{3+} et H_2SO_4 . Elle dépend de la nature du milieu réactionnel. C'est ainsi que dans tous les sols où le pouvoir neutralisant est faible, les pH sont très bas.

Dans les sols sulfatés acides on distingue communément l'acidité potentielle et l'acidité actuelle (Van Beers, 1962; Pons et al., 1982; Van Breemen, 1975, 1987; Konsten et al., 1986; Dent, 1986). Pour estimer quantitativement ces deux formes d'acidité nous avons appliqué la méthode développée par Konsten et al. (1986) (An. I).

5.5.4.1 Acidité potentielle

L'acidité potentielle totale d'un sol représente la quantité d'acide qui serait produite si toute la pyrite contenue dans les sédiments est oxydée. Afin de connaître cette quantité d'acide nous avons provoqué, grâce à la méthode de Konsten et al. (1986) à l'aide de l'eau oxygénée (H_2O_2) (An. I), l'oxydation totale de la pyrite d'échantillons frais prélevés d'horizons de sols potentiellement sulfatés acides tourbeux. Après oxydation complète de la pyrite (après 48h), l'acidité a été titrée sur des filtrats de suspensions de sol, dans NaCl 1 mol/l (1/5) à l'aide d'une solution de NaOH 0,5 mol/l jusqu'à pH 5,5. Les résultats de la figure 44 donnent les quantités d'acide produit par l'oxydation, en fonction du E_H .

Dans les sols de tannes non inondés (S2.Tn) l'acidité potentielle n'est révélée qu'en profondeur, alors que dans ceux des tannes inondés (S2.Ti) et des tannes vasières (S2.TV) elle est présente dans tout le profil, avec des valeurs comprises entre 560 et 998,3 mol/m³, correspondant à des E_H négatifs et des pH < 5,0 (tab. 5.1, An. III).

L'acidité potentielle augmente inversement avec E_H et sont liés par la

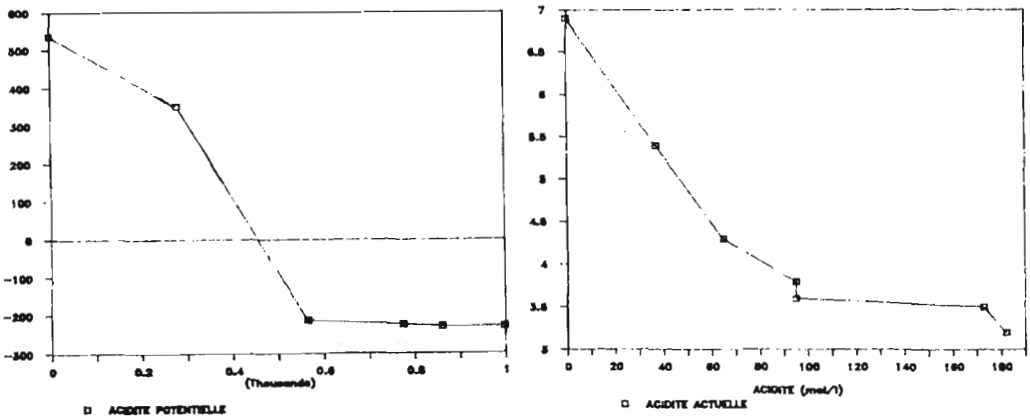


Figure 44: Acidité potentielle et Acidité actuelle en fonction du E_H et du pH, respectivement.

relation:

$$AP = -1,04 \times E_H + 546,47 \quad (\text{Eq. 13})$$

où

AP = acidité potentielle en mol/m^3 , E_H = potentiel d'oxydo-réduction en mVolts.

Coefficient de corrélation: $R = -0,97$.

Le pH in situ ne semble pas être un bon indicateur de l'acidité potentielle du sol, comme le révèle le faible coefficient de corrélation $R = 0,56$ et l'ont constaté Konsten et al. (1986). Ces deux paramètres sont liés par la relation:

$$AP = 156,82 \text{ pH} - 372,11 \quad (\text{Eq. 14})$$

où

AP = acidité potentielle en mol/m^3 .

5.5.4.2 Acidité actuelle

L'acidité actuelle est définie comme étant l'acidité totale existant présentement dans un sol (Konsten et al., 1986).

Ce type d'acidité caractérise tous les sols sulfatés acides à jarosite (S2.TN). La quantité d'acide du sol dépend de l'importance et du degré d'oxydation de la pyrite initialement contenue dans les sédiments et du fonctionnement dynamique du milieu chimique. Les quantités d'acidité totale (tab. 5.1, An. III) varient entre 37 et 183 mol/m³ (fig. 44).

Parmi les ions acides présents dans le milieu, SO₄²⁻ manifeste une grande mobilité (Van Breemen, 1976; Dent, 1986) ce qui fait qu'une bonne partie est éliminée du système par les eaux de drainage ou entraînée en profondeur d'où ils peuvent être recyclés de nouveau sous formes de sulfures (Van Breemen, 1975; Van Breemen et al., 1978).

L'aluminium échangeable montre une corrélation négative ($R = -0,71$) avec le pH qui semble indiquer une solubilisation élevée en Al³⁺ dans les pH bas. Ils sont liés par la relation:

$$\text{Al}^{3+} = - 3,83 \text{ pH} + 15,41 \quad (\text{Eq. 15})$$

où Al³⁺ (meq/100g) = aluminium échangeable.

Son comportement dans les sols sursalés révèle des faits inhabituels, car malgré des pH in situ très bas (pH < 4,0) dans les sols sulfatés acides à jarosite, sa teneur reste faible (< 1 meq/100 g). Cependant dans les sols potentiellement sulfatés acides oxydés au laboratoire, Al³⁺ est fortement présent, avec des teneurs comprises entre 3 et 11 meq/100 g pour des pH de l'ordre de 3 à 2,7 (tab. 4.6 à 4.10, An. III). Ce comportement in situ s'expliquerait par la forte concentration en sels solubles de la solution du sol et des eaux des marées qui entraîneraient sa précipitation sous formes de polymères ou sa lixiviation hors du milieu. Cette hypothèse semble être confirmée par les expériences de Mensvoort et al. (1989) qui ont mis en évidence une substitution de Al³⁺ par Na⁺ et Mg²⁺ sur le complexe d'échange cationique des argiles et un entraînement de l'acidité libre lorsque le sol est lessivé avec de l'eau de mer. La forte acidité serait donc due essentiellement aux H⁺ produits par la dissociation de H₂SO₄.

Dans les eaux des nappes phréatiques, seule l'acidité libre semble expliquer le pH auquel elle est corrolée négativement ($R = - 0,47$) par la relation:

$$\text{pH} = -0,12 \times \text{Aci} + 4,21 \quad (\text{Eq. 16})$$

où

Aci = acidité libre (meq/l).

Les différences de pH et d'acidité actuelle, révélées par les différents types de sols montrent que l'acidité ne dépend pas de la quantité du soufre, du fer libre ou de l'aluminium présents dans le milieu. Elle dépendrait plutôt du fonctionnement du milieu chimique réactionnel, caractérisé par des processus de lixiviation ou de recyclage des produits acides, comme l'ont démontrée Van Breemen (1975 et 1988a) et Dent (1986). Lorsque le milieu fonctionne en système ouvert, comme c'est le cas dans les sols sableux de la partie inférieure du glacis de raccordement, l'excès de l'acide a tendance à être lixivié par les eaux de drainage, alors qu'en système fermé il est conservé dans le milieu. Cette lixiviation semble dominer dans les sols sableux évolués du glacis de raccordement.

Les suivis menés au cours de l'année sur l'évolution saisonnière du pH des sols et des nappes n'ont révélé aucune différence significative. Ceci provient du fait que les conditions pédoclimatiques actuelles - hyperacidité et déficit hydrique - ne permettent pas de lixivier l'excès de l'acidité présente dans le sol, à cause des faibles quantités des eaux des pluies.

5.6 Maturation physique

L'étude des caractéristiques physiques a révélé des différences notables sur la structure et la consistance des matériaux des sols.

L'ensemble des processus entraînant la maturation physique est appelé par Pons et Zonneveld (1965) "physical ripening" (maturation physique).

Pour caractériser le degré de maturation du profil, ces auteurs utilisent un coefficient appelé N-value, déterminé à partir de la formule:

$$N = \frac{A - 0,2(100 - L - H)}{L + 3H} \quad (\text{Eq. 17})$$

où

N = teneur en eau ramenée à 1g d'argiles

A = teneur en eau en g/100g sol (sec) = $\frac{100}{100-W\%} \times W\%$, avec W représentant la teneur en eau en % du sol humide

L = teneur en argiles de l'échantillon

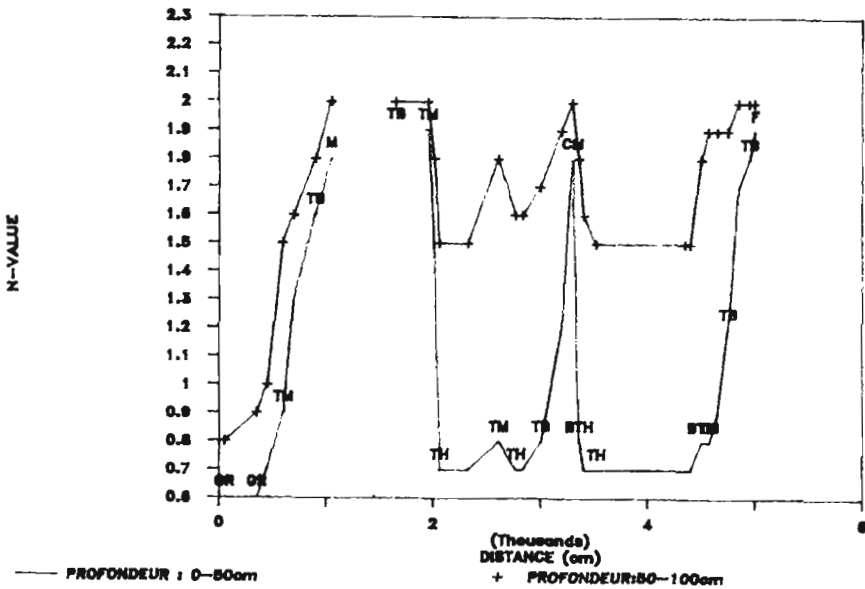
H = teneur en % de matières organiques.

Le tableau 10 présente les valeurs de N et les caractéristiques des classes proposées par les auteurs et nous-mêmes pour les sols du Sine Saloum.

Tableau 10: Valeur de N, classes correspondantes et caractéristiques.

Classes	N-value	Description des caractéristiques des sols par pression manuelle	
		Pons et Zonneveld (1965)	Sols du sine Saloum
1. Non saturé	> 2,0	Very soft mud, more or less fluid, dripping through the fingers, even without squeezing	Non développé, à consistance fluide
2. Peu mûré	1,4-2,0	Soft mud, very easily lost between the fingers when squeezed	Non développé, à consistance peu fluide
3. Semi-mûré	1,0-1,4	Has some consistency, is easily lost between the fingers when squeezed	Peu développé, à consistance molle (maléab, peut glisser entre les doigts)
4. Presque mûré	0,7-1,0	Has medium consistency. Is squeezed through the fingers with some difficulty	Presque développé, à consistance peu molle (glisse très difficilement entre les doigts)
5. Mûré	0,4-0,7	Has normal firm consistency when wet. Not possible to squeeze through the fingers. Hard when dry	Développé, à consistance ferme, plastique (colle à la main)
6. Très mûré	< 0,4	Has stiff consistency when wet, very hard when dry	Très développé, à consistance meuble ou compacte, très dure

La figure 45 présente la distribution des échantillons prélevés à différentes profondeurs des profils le long de la séquence 2. On remarque une augmentation de N lorsqu'on passe des tannes exondés vers les zones inondées, traduisant une diminution du degré de maturation. C'est ainsi que tous les sols des glacis de raccordement et des terrasses hautes plus mûrés sont caractérisés par des valeurs plus faibles inférieures à 0,7, alors que dans les autres, N-value est généralement supérieur à 1,0.



G.R.: glaciais de raccordement; T.M.: terrasse moyenne; T.B.: terrasse basse; T.H.: terrasse haute; B.T.H.: bordure de terrasse haute; F: fleuve.

Figure 45: Variation de la valeur N le long de la séquence S2.

A l'origine de ces différences de maturation physique du profil semble se trouver la saturation en eau des matériaux. Cette saturation en eau du profil étant étroitement liée à l'influence du régime hydrologique, la topographie et le drainage interne, on peut donc dire que ce sont ces facteurs qui régissent la maturation physique. Cela signifie que quel que soit l'aridité du climat, si le niveau topographique permet une inondation permanente du sol ou favorise un excès d'humidité dans le profil, le processus de maturation ne peut avoir lieu ou sera peu marqué.

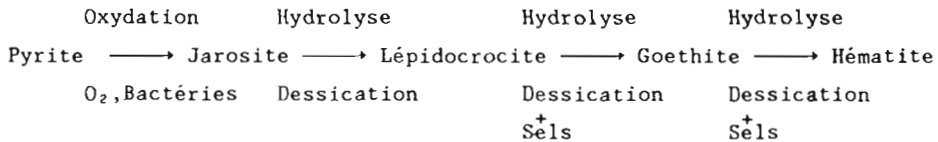
Le fait que ce sont les sols les plus évolués chimiquement qui sont les plus maturés, on peut donc dire que l'évolution chimique s'accompagne d'une maturation physique.

5.7 Conclusion

Les changements climatiques et la dégradation consécutive de l'environnement écologique se sont donc traduits au cours de ces dernières années par une pédogenèse acidifiante et salinisante.

L'extrême jeunesse de ces sols, moins de vingt ans - car nés avec l'installation de la sécheresse actuelle - montre que la formation des sols sulfatés acides est un phénomène très rapide dépendant essentiellement de processus géochimiques. L'importance et la rapidité de ces processus dépendent de l'influence des conditions pédoclimatiques du milieu de genèse. La rapidité des processus d'oxydation de la pyrite a été révélée par les résultats expérimentaux obtenus au laboratoire par Van Breemen (1976).

Dans des conditions de pédoclimat très aride, l'oxydation de la pyrite peut se poursuivre jusqu'à la formation de l'hématite par des transformations progressives que l'on peut résumer comme suit:



L'évolution est d'autant plus rapide que l'on se trouve en présence d'une forte concentration de sels, car leur présence active les réactions chimiques et surtout l'hydrolyse de la jarosite.

Quoique la pédogenèse de ces sols dépend principalement de la présence de soufre dans les matériaux parentaux, le rôle des sels - mêmes solubles - est un fait à prendre en compte à cause de leur sursalure pendant plus de 8 mois dans l'année. Dans le contexte climatique actuel caractérisé par une aridité permanente, leur prise en compte en tant que facteur de pédogenèse et dans la classification des sols, doit être un souci permanent, malgré la variation saisonnière à laquelle ils sont soumis.

Comme nous le verrons dans les chapitres ci-après, l'acidité et la salinité constituent les principales contraintes de la mise en valeur agricole des sols des tannes du Sine Saloum.

CHAPITRE SIX

CLASSIFICATION DES SOLS SULFATES ACIDES SALES DES TANNES DU SINE SALOUM

6.1 Les différents systèmes de classification

La classification des sols salés et sulfatés acides a été abordée de différentes manières selon les systèmes. Quoique les principes de base restent les mêmes, les critères de classification n'ont pas été considérés avec la même importance dans tous les systèmes.

6.1.1 *Soil Taxonomy (U.S. Soil Survey)*

6.1.1.1 Sols Sulfatés acides

Dans Soil Taxonomy les sols sulfatés acides sont classés à partir de deux critères principaux de diagnostic: matériau sulfidique et horizon sulfurique.

Le matériau sulfidique (sulfidic material) est caractérisé par la présence de pyrite avec un taux supérieur à 0.75% et par une saturation en eau. Le pH in situ est voisin de 7, il tombe à moins de 3,5 après séchage à l'air. Il définit les sols potentiellement sulfatés acides.

L'horizon sulfurique (sulfuric Horizon) est caractérisé par la présence de taches de jarosite (Hue 2,5Y, jaune, chroma de 6 ou plus) et un pH < 3.5. Il définit les sols sulfatés acides.

Les sols potentiellement sulfatés acides sont classés dans les sous-ordres des HEMISTS et des AQUENTS:

- Sulfihemists: sols organiques à matériau sulfidique dans les 100 premiers centimètres.
- Sulfaquents: sols minéraux caractérisés par la présence d'un matériau sulfidique au moins à partir des 50 premiers centimètres.
- Sulfic Fluvaquents: sols minéraux, à matière organique irrégulièrement répartie, caractérisés par la présence de matériau sulfidique entre 50 et 100 cm.

- Sulfic Haplaquents: sols minéraux caractérisés par une matière organique diminuant à partir de 25 cm et par un matériau sulfidique entre 50 et 100 cm.
- Sulfic Hydraquents: sols minéraux maturés ou faiblement maturés, caractérisés par la présence d'un matériau sulfidique entre 50 et 100 cm.

Les sols sulfatés acides à jarosite sont classés dans les sous-ordres des HEMISTS et des AQUEPTS:

- Sulfohemists: sols organiques caractérisés par un horizon sulfurique à partir des 50 premiers centimètres.
- Sulfaquepts: sols minéraux caractérisés par la présence d'un horizon sulfurique dans les 50 premiers centimètres.
- Sulfic Haplaquents: sols minéraux maturés caractérisés par la présence de jarosite et pH 3,5-4 dans les 50 premiers centimètres.
- Sulfic Tropaquepts: sols minéraux maturés caractérisés par une température moyenne de 8°C au moins, des taches de jarosite et des pH 3,5-4 dans les 50 premiers centimètres.

6.1.1.2 Sols Salés

Comme pour les sols sulfatés acides, aucun ordre n'a été réservé aux sols salés. Ils sont définis par l'horizon salic qui est un horizon de 15 cm d'épaisseur au moins contenant plus de 2% de sels plus solubles que le gypse. Ils appartiennent au groupe des Salorthids dans le sous-ordre des ORTHIDS. Les Salorthids sont des sols salés caractérisés par la présence d'un horizon salique (Salic Horizon) se trouvant dans les 75 premiers centimètres du sol, et par la saturation en eau à une profondeur de 1m durant un mois ou plus par an.

Deux sous-groupes ont été distingués:

- Typic Salorthids: caractérisés par les caractères types du sous-groupe;
- Aquollic Salorthids: ayant d'autres caractéristiques.

6.1.2 Légende F.A.O.

6.1.2.1 Sols Sulfatés acides

La classification adoptée dans la légende FAO est également basée sur la définition de critères de diagnostique qui sont à peu près les mêmes

que ceux de Soil Taxonomy.

Les sols Sulfatés acides appartient à trois unités:

- Thionic fluvisols: Ce sont des Fluvisols caractérisés par un horizon Sulfurique et/ou un matériau sulfidique situé à moins de 125 cm de la surface du sol.
- Thionic gleysols: Ce sont des Gleysols présentant à moins de 125 cm de profondeur un horizon sulfurique, sans permafrost dans les 200 premiers centimètres du sol.
- Thionic histosols: Ce sont des Histosols présentant dans les 125 premiers centimètres un horizon sulfurique ou un matériau sulfidique.

6.1.2.2 Sols Salés

Les Sols salés sont définis par des propriétés dites saliques caractérisées par une conductivité électrique de l'extrait pâte saturée supérieure à 15 mS/cm (à 25°C), à une certaine période de l'année, dans les 30 premiers centimètres du sol, ou à 4 mS/cm si le $pH > 8,5$.

Ils appartiennent aux SOLONCHAKS. Les différents groupes sont définis par les préfixes haplic, mollic, calcic, gypsic, sodic, gleyic, gelic.

6.1.3 Classification Française (Segalen et al., 1979)

Il s'agit d'un projet de classification élaboré par une équipe de pédologues de l'ORSTOM en 1979, sous la direction de Ségalen. La démarche utilisée, reste proche de celle de Soil Taxonomy.

Les sols potentiellement sulfatés acides sont définis par la présence de Thion (matériau sulfidique) alors que les sols sulfatés acides à jarosite sont définis par la présence de Sulfon (horizon sulfurique). Le Thion et le Sulfon doivent apparaître au moins à partir de 60 cm.

Quant aux sols salés, ils sont définis par la présence de Halon (horizon salique) dont la C.E (1/1) est supérieure ou égale à 8 mS/cm (à 25°C)), de Gypson (horizon à sulfates de calcium dont la teneur est supérieure à 15%) et de Carboxiton (horizon à carbonates de calcium ou de magnésium dont la teneur est supérieure à 15%). Ces horizons doivent être situés à moins de 60 cm de la surface du sol.

Ils appartiennent à la classe des SELSOLS. Le soufre n'intervient qu'au niveau des sous-classes définies comme suit:

- Thiosols: caractérisés par la présence de Thion;
- Sulfosols: caractérisés par la présence de Sulfon;
- Halisols: caractérisés par la présence de Halon;
- Gypsisols: caractérisés par la présence de Gypson;
- Carboxisols: caractérisés par la présence de Carboxiton.

6.1.4 Référentiel pédologique français

6.1.4.1 Sols Sulfatés acides (Marius, 1988)

Les critères de classification se rapprochent de ceux de Soil Taxonomy. Le soufre, sous ses différentes formes, définit la classe.* Celle-ci comprend deux sous-classes (Références):

- Thiosols: Ce sont des sols caractérisés par la présence de matériau sulfidique à moins de 50 cm de profondeur. Elle comprend les groupes de Thiosols typiques, Thiosols tourbeux (horizon tourbeux de moins de 20 cm d'épaisseur), Thiosols humifères (horizon de surface avec 5-8% de carbone organique), Thiosols saliques (horizon salique avec une c.e. >8 mS/cm dans les 50 premiers centimètres toute l'année) et les Thiosols sulfatés (taches de jarosite sur les 50 cm superficiels avec un N-value >1,4).
- Sulfatosols: Ce sont des sols sulfatés acides présentant un horizon sulfurique comme défini plus haut. On distingue des Sulfatosols typiques, Sulfatosols tourbeux, Sulfatosols humifères, Sulfatosols saliques, Sulfatosols rhodiques (présence de taches rouges d'oxydes de fer au-dessus de l'horizon sulfaté, le pH est supérieur à 3,5), Sulfatosols alumiques (présence de sulfates d'alumines dans les 20 premiers centimètres), Sulfatosols gypseux.

* Cette appellation est de nous, car les auteurs utilisent le terme de "Référence de sols".

6.1.4.2 Sols Salés (Loyer, 1988)

Cette classification, comme les autres, s'appuie sur des critères de diagnostique dont les principaux sont:

- Horizon Salique: C'est un horizon de 15 à 20 cm d'épaisseur apparaissant à moins de 125 cm de profondeur; enrichi en sels de chlorures, sulfates, carbonates plus solubles que le gypse. La conductivité électrique (1/1) est supérieure ou égale à 8 mS/cm s'il s'agit de sels chlorurés ou sulfatés, à 4 mS/cm s'il s'agit de sels de carbonates de sodium.
- Horizon Sodique: C'est un horizon d'au moins 10 cm d'épaisseur apparaissant dans les 80 premiers centimètres de profondeur et caractérisé par une structure massive des agrégats. La teneur en ions Na^+ est supérieure à 10% de la capacité d'échange cationique.

La présence dans le sol de l'horizon salique a permis de définir la sous-classe des Salisols et des Salsodisols, appartenant à la classe des sols SALSODIQUES. On distingue les Salisols chloruro-sulfatés (sels d'origine marine riches en Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}), les Salisols carbonatés (sels alcalins), les Salisodisols (horizon salique de surface reposant sur un horizon sodique) et les Sodisalisols (horizon sodique de surface épais et différencié reposant sur un horizon salique).

6.1.5 Classification des sols du Viet Nam (PONS et al., 1986)

Il s'agit d'un projet de classification. Elle s'appuie sur les mêmes critères que Soil Taxonomy, mais dans un esprit plus détaillé. Les ordres et sous-ordres restent les mêmes. C'est au niveau des groupes que se situent les différences à cause de la modification de l'horizon sulfurique qui inclut les horizons sulfatés sans jarosite. Les sols sulfatés acides ont été regroupés dans le sous-ordre des AQUEPTS, AQUEPTS et des HEMISTS et réparties dans 5 sous-ordres:

- Hydraquents: sols physiquement non maturés (unripe) constitués de sables limoneux très fins et saturés d'eau.
- Sulfaquents: plus maturés que les hydraquents et développés sur un matériau sulfidique situé vers 50 cm de profondeur.

- Fluvaquents: Ce groupe inclut les sols hydromorphes des plaines inondées, des deltas et estuaires qui montrent des caractéristiques fluviqques, c'est-à-dire des bandes de sédiments alternées avec de la matière organique inégalement répartie. En effet ce sont des sulfaquents qui ont été couverts d'une couche fluviqque.
- Sulfaquepts: Aquepts caractérisés par un horizon sulfurique situé dans les 50 premiers centimètres. On distingue des groupes Histic sulfidic (matériau sulfidic apparaît entre 50-80 cm de profondeur et un épipédon histic), Humic sulfidic (présence d'un épipédon mollic ou umbric), Sulfidic (matériau sulfidic commençant entre 50-80 cm de profondeur), Histic (épipédon histic), Humic (épipédon humic), Typic (matériau sulfidic commençant entre 80-120 cm de profondeur) et Pale sulfaquepts (matériau sulfidique à partir de 80-120 cm de profondeur).
- Tropaquepts: Aquepts dont l'horizon sulfuric est situé entre 50 et 120 cm. On distingue les sous-groupes Sulfic (horizon sulfurique à partir de 50-80 cm), Sulfidic sulfic (horizon sulfurique à partir de 50-80 cm et un matériau sulfidic à partir de 80-120 cm de profondeur), Pale sulfic (horizon sulfurique à partir de 80-120 cm), Rhodic sulfic (horizon sulfurique à partir de 50-80 cm et un matériau sulfidique situé à plus de 120 cm et Rhodic pale sulfic tropauepts (présence d'un horizon sulfurique entre 80-120 cm et des taches rouges au-dessus).
- Humaquepts: Aquepts humifères. On distingue les mêmes sous-groupes Sulfic, que dans le sous-ordre précédent.

6.1.6 Remarques

La comparaison entre les différents systèmes met en évidence la complexité des sols salés et sulfatés acides et la difficulté de mettre en place une classification harmonieuse qui intègre tous les types de sols.

Quoique la démarche adoptée, basée sur la définition de critères de diagnostique reste la même partout, il ressort des différences d'un système à l'autre, surtout au niveau de la hiérarchisation et de la définition des critères et de l'épaisseur des horizons caractéristiques.

C'est seulement dans le référentiel français que le soufre a été considéré au niveau le plus élevé de la classification. Dans les autres, il n'intervient qu'au niveau des sous-classes ou des sous-ordres.

Quant aux sels solubles, leur présence définie par l'horizon salique, a permis de définir les classes dans la classifications de l'ORSTOM et le Référentiel français.

La présence du soufre et des sels solubles a été traitée séparément dans les classifications de Soil Taxonomy et des sols du Viet Nam. Tout se passe comme si la présence simultanée de ces deux paramètres dans les sols n'est pas un fait courant.

6.3 Classification des sols sulfatés acides salés des tannes du Sine Saloum

La diversité des types de sols rencontrés impose dans le cadre de leur meilleure connaissance l'élaboration d'un système de classification permettant de mieux identifier chaque type.

C'est dans ce cadre que la classification ci-dessous a été élaborée. Elle emprunte la même démarche que les précédentes. Les critères de diagnostique sont les caractéristiques morphologiques et physico-chimiques.

6.3.1 Principes de classification

Cette classification s'appuie principalement sur les critères définis ci-dessous. La différenciation des types est basée sur leur degré de maturation physique, les types de pédogenèse et les caractéristiques physico-chimiques. La démarche consiste à définir des classes, sous-classes, groupes, sous-groupes.

Son objectif principal est de mettre à la disposition des pédologues et autres un cadre de référence permettant d'adopter un langage commun et harmonieux technique et scientifique dans les études de la connaissance et de cartographie des sols.

6.3.1.1 Critères de diagnostique

Sont appelés critères de diagnostique les principales caractéristiques morphologiques et physico-chimiques permettant de définir les grandes catégories des sols:

- a. Matériau sulfidique: il reste défini de la même façon que dans Soil Taxonomy. Le pH in situ est compris entre 6 et 7,3. Il tombe à moins de 3,5 après séchage à l'air. N-value >1,0.
- b. Horizon sulfurique: horizon caractérisé par des taches de jarosite de couleur jaune pâle (Hue 2,5Y; Value >7 et chroma de 6-8) et jaunâtre (Hue 2,5Y ou 10YR; Value >6 et chroma >6). Le pH mesuré in situ est peu différent de celui du laboratoire et inférieur à 4,0. N-value <1,4.
- c. Horizon salique: caractérisé par la présence de sels plus solubles dans l'eau que le gypse. La C.E_s doit être pendant une grande partie de l'année supérieure ou égale à 1 mS/cm (25°C) pour les sols à texture fine, et 0,5 mS/cm (25°C) pour les sols sableux.

6.3.1.2 Critères de différenciation

Ce sont des critères qui permettent de distinguer, au sein d'une même sous-classe et des groupes, les types de sols.

- a. Horizon sulfaté: saturé d'eau et contenant plus de 0,75% de soufre sous forme essentiellement de sulfates, mais sans ou peu de taches de jarosite, marron à gris marron (Hue 7,5YR à 5YR, value de 4, chroma de 2 à 3) ou jaune-olive (2,5Y 6/6). Le pH est de 4,0 à 4,5 dans les horizons marrons et supérieur à 5,0 dans les horizons à tache jaune-olives. La consistance est très peu développée avec un N-value compris entre 1,4 et 1,9.
- b. Horizon rhodique: caractérisé par une couleur d'ensemble rouge (Hue 2,5YR et 10R, value>5 et chroma>6) due à l'accumulation d'oxydes de fer provenant de l'hydrolyse de la jarosite. Il peut être seulement taché mais les taches doivent occuper plus de 50% de la matrice. pH: 4,5-5,5.
- c. Horizon à jarosite hydrolysée: caractérisée par la présence de taches de jarosite évoluée de couleur jaunâtre à orange (10YR 5-8/6-8) et ocre rougeâtre (5YR, 7,5YR 4-8/4-8). pH: 4-5,0.
- d. Salé: horizon dont la C.E_s est comprise entre 0,5-2 mS/cm pour les sols sableux et 1-3 mS/cm pour les sols à texture fine ou C.E_s entre 4 et 15 mS/cm.
- e. Moyennement salé: horizon dont la C.E_s est comprise entre 2-4 mS/cm pour les sols sableux et 3 à 6 mS/cm pour les sols à texture fine ou C.E_s entre 15 et 35 mS/cm.

- f. Très salé: horizon caractérisé par une $C.E_s > 4$ pour les sols sableux et 6 mS/cm pour les sols à texture fine ou $C.E_s > 35 \text{ mS/cm}$.
- g. Tourbeux: horizon ou matériau présentant des racines décomposées de *Rhizophora* occupant plus de 30%, avec une épaisseur de plus de 15 cm.
- h. Gypsique: horizon à gypse de plus de 5% sous forme de cristaux ou de filons et d'épaisseur supérieure à 15 cm.

6.3.1.3 Caractères particuliers

Ils permettent de distinguer au sein des groupes des sols présentant des différences dues à la nature des matériaux:

- a. Argileux: se dit d'un matériau dont la texture contient plus de 30% d'argiles.
- b. Limoneux: se dit d'un matériau contenant au moins 50% de limons, avec 15 à 20% d'argiles.
- c. Sableux: se dit d'un matériau contenant au moins 70% de sables.
- d. Complexes: se dit d'un profil à matériaux polyphasés superposés.
- e. Coquilliers: se dit d'un matériau constitué d'un mélange de terre fine ($< 2 \text{ mm}$) et de coquilles d'animaux marins (coquillages, huîtres, etc.) non ou peu altérées.

6.3.2 Clés de définition des classes

La détermination des classes repose sur les principaux processus de pédogenèse définis par les critères de diagnostique.

Contrairement à certaines classifications la présence de sels solubles, définie par l'horizon salique, est considérée ici comme un facteur déterminant de pédogenèse dans la mesure où ils jouent une influence importante sur les propriétés chimiques de ces sols.

Quant aux sols potentiellement sulfatés acides, leur classification a toujours posé des difficultés (Pons, 1986). Ils sont inclus par les différentes classifications dans les sols sulfatés acides, alors qu'ils sont tout à fait différents, car ils ne sont pas acides. Compte tenu de cela, nous avons créé une classe consacrée aux sols potentiellement sulfatés acides salés.

Les classes sont définies comme suit:

a. Sols caractérisés par:

- un horizon ou matériau salique, apparaissant dans les 50 premiers centimètres durant au moins 8 mois dans l'année;
- pH supérieur à 5,0 sur au moins 80 cm durant toute l'année;
- ayant une ou toutes les caractéristiques ci-après:
 - * inondé avec de l'eau salée pendant une partie de l'année,
 - * présence d'une nappe salée de $C.E_n > 4$ mS/cm (25°C),
 - * manifestation de sels en surface par la présence de végétation halophyte ou d'accumulation de sels sous forme de croûtes, fines pellicules ou de poudres et d'efflorescences dans le profil;
 - * manifestation des sulfates sous forme de taches jaune-olive (2,5Y 6/6) avec pH >5,0.

SALISOLS SULFATES

b. Sols caractérisés par:

- présence d'un matériau sulfidique contenant plus de 0,75% de soufre sous forme de pyrite, apparaissant dans les 50 premiers centimètres, avec une épaisseur de plus de 30 cm, au moins;
- N-value > 0,7;
- au moins un des caractères ci-après:
 - * inondé périodiquement,
 - * ou saturé d'eau à partir de 30 cm.

SOLS POTENTIELLEMENT SULFATES ACIDES

c. Sols caractérisés par:

- présence d'un horizon sulfurique contenant plus de 0,75% de soufre oxydé, apparaissant dans les 50 premiers centimètres, avec une épaisseur de 30 cm, au moins;
- au moins des caractères ci-après
 - * inondé seulement pendant une partie de l'année, mais reste marqué par la présence de jarosite;
 - * présence d'une nappe située à plus de 80 cm, à pH <5,0.

SOLS SULFATES ACIDES A JAROSITE

6.3.3 Les différentes sous-classes

La division des classes en sous-classes est basée sur les critères de différenciation qui traduisent des processus de pédogenèse propres à chaque type de sols.

6.3.3.1 Salisols sulfatés

Ce sont des sols dont la pédogenèse est fortement conditionnée par la présence dans le profil de sels solubles exerçant une influence notable sur leurs propriétés chimiques. Ils sont également marqués pour les taches d'hydromorphie. Les sous-classes sont définies à partir du niveau de salinité.

a. Sols caractérisés par:

- * une conductivité électrique de la pâte saturée comprise entre 4 et 15 mS/cm (25°C), soit une C.E_s de 1 à 3 mS/cm pour les sols à texture fine ou 0,5 à 2 mS/cm pour les sols sableux.

SALISOLS SULFATES PEU SALES

b. Sols caractérisés par:

- * une conductivité électrique de la pâte saturée comprise entre 15 et 35 mS/cm (25°C), soit une C.E_s de 3 à 6 mS/cm pour les sols à texture fine ou 2 à 4 mS/cm pour les sols sableux;
- * une accumulation des sels en surface sous forme de couches peu épaisses à structure en plaquette ou poudreuse, ou sous forme d'efflorescences dans le profil.

SALISOLS SULFATES MOYENNEMENT SALES

c. Sols caractérisés par:

- * une conductivité électrique de la pâte saturée supérieure à 35 mS/cm (25°C), soit une C.E_s supérieure à 6 mS/cm (25°C) pour les sols à texture fine ou 4 mS/cm pour les sols sableux;
- * une accumulation des sels en surface sous forme de couches assez

épaisses à structure poudreuse ou pelliculaire et dans le profil sous forme d'efflorescences.

SALISOLS SULFATES SURSALES

6.3.3.2 Sols Potentiellement sulfatés acides

Cette classe regroupe tous les sols dont la pédogenèse est conditionnée par la présence de soufre sous forme de pyrite. Les sous-classes sont définies par la présence d'un horizon sulfurique.

On distingue les classes suivantes:

- a. Thiosols typiques: ce sont les Thiosols présentant les caractéristiques de la sous-classe.
- b. Thiosols sulfuriques: ce sont des Thiosols caractérisés par la présence d'un horizon à taches de jarosite de couleur jaune pâle (2,5Y 8/4) peu nombreuses dans les 50 premiers centimètres.

6.3.3.3 Sols Sulfatés acides à jarosite

Ce sont des sols dont la pédogenèse est marquée par l'oxydation du soufre en jarosite, définie par l'horizon sulfurique. Les sous-classes sont définies en fonction du degré de maturation chimique (chap. 5) de l'horizon sulfurique.

- a. Sulfatosols à jarosite jeune: ce sont des sols à tache de jarosite de couleur jaune pâle (2,5Y 7-8/6-8) apparaissant dans les 50 premiers centimètres jusqu'à 80 cm de profondeur au moins.
- b. Sulfatosols à jarosite hydrolysée: ce sont les sols présentant des taches de jarosite hydrolysée dans les 80 premiers centimètres, de couleur située dans Hue 10YR à 7,5YR, value > 6 et chroma > 4. pH: 4-5,0.

6.3.4 Les Groupes

La division des sous-classes en groupes est basée sur les critères de différenciation traduisant des processus particuliers de pédogenèse.

6.3.4.1 Salisols sulfatés

La division des sous-classes en groupes est basée sur les processus secondaires de pédogenèse définis par les critères de différenciation:

- a. Groupe typique: ce sont les sols présentant les caractéristiques typiques des sous-classes.
- b. Groupe Neutre à alcalin: ce sont les sols caractérisés par des pH compris entre 6 et 8,2, dus à la présence de bicarbonates (HCO_3^-) et de calcium (Ca^{2+}) fournis par les coquilles d'huitres ou de mollusques.
- c. Groupe sulfaté acide à jarosite: ce sont des sols contenant des horizons sulfatés ou sulfuriques apparaissant vers 80 cm de profondeur, avec des taches ocres ou brun-jaunâtres (Hue 10YR, valeur 5 à 6, chroma >6) occupant moins de 15% de la matrice du sol. Le pH est inférieur à 4,5 à partir de 30-40 cm au moins. Au-dessus il peut être compris entre 5 et 6,0.

6.3.4.2 Sols potentiellement sulfatés acides

La différenciation des sous-classes en groupes est basée sur le niveau de salinité. On distingue un seul groupe: sol sursalé.

6.3.4.3 Sols sulfatés acides à jarosite

La distinction des groupes est basée sur le niveau de salinité ou sur la couleur des taches.

a. Sulfatosols à jarosite jeune:

- * **Groupe des sols sursalés**: caractérisés par une $\text{C.E}_s > 4$ mS/cm pour les sols sableux et > 6 mS/cm pour les sols à texture fine.

b. Sols à jarosite hydrolysée:

- * **Groupe à horizon marron**: ce sont des sols caractérisés par la présence d'un horizon sulfaté de couleur marron apparaissant dans les 80 premiers centimètres.
- * **Groupe à taches jaunâtres**: ce sont des sols caractérisés par la présence des taches dominantes de couleur jaunâtre (10YR 5-8/6-8).
- * **Groupe à taches ocre-rougeâtres**: ce sont des sols caractérisés par

la présence des taches dominantes de couleur ocre-rougeâtre (7,5YR-5YR, value >6, chroma >4).

- * **Groupe à taches et horizons rhodiques:** ce sont des sols caractérisés par la présence des taches dominantes ou d'horizon rhodique (2,5YR-10R, value >4, chroma >4).
- * **Groupe hydromorphe:** ce sont des sols caractérisés par des taches d'hydromorphie.

6.3.5 Les Sous-groupes

La distinction des groupes en sous-groupes est basée sur les caractéristiques particuliers des sols.

6.3.5.1 Salisols sulfatés

La division des groupes en sous-groupes est basée sur la présence de la nappe phréatique. On distingue:

- a. Sous-groupe à nappe superficielle: ce sont des sols à nappe située à moins de 150 cm, fluctuante, pouvant remonter à moins de 80 cm pendant une partie de l'année (hivernage).
- b. Sous-groupe à nappe peu profonde: ce sont des sols caractérisés par la présence d'une nappe située entre 150 et 200 cm pendant la majeure partie de l'année.
- c. Sous-groupe à nappe profonde: ce sont les sols ayant une nappe phréatique située à plus de 200 cm de profondeur pendant plus de 8 mois dans l'année.

6.3.5.2 Sols potentiellement sulfatés acides

La différenciation des sous-groupes est basée sur la présence de matériaux tourbeux. On distingue:

- a. Sous-groupe modal: ce sont des sols ne présentant aucun caractères particulier. Il se rencontre dans tous les groupes.
- b. Sous-groupe à horizons tourbeux: caractérisé par la présence d'un horizon tourbeux,

6.3.5.3 Sols sulfatés acides à jarosite

a. Sols sulfatés acides à jarosite jeune:

La distinction des sous-groupes est basée sur les caractéristiques définies par les critères de différenciation et les critères particuliers liés aux matériaux du profil ou aux processus secondaires de pédogenèse.

- * **Sous-groupe modal:** représentant les caractéristiques du groupe;
- * **Sous-groupe à horizon tourbeux:** défini par la présence d'horizon tourbeux, comme défini dans 6.2.1.2, entre 80 et 150 cm.
- * **Sous-groupe gypsique:** défini par la présence d'un horizon gypsique, comme défini dans 6.2.1.2, apparaissant dans les 80 premiers centimètres.

b. Sols sulfatés acides à jarosite hydrolysée:

La distinction en sous-groupes est basée sur le niveau de salinité. On distingue:

- * **Sous-groupe des sols salés:** ce sont des sols dont la conductivité électrique est comprise entre 0,5 et 2 mS/cm pour les sols sableux et entre 1 et 3 mS/cm pour les sols à texture fine.
- * **Sous-groupe des sols moyennement salés:** caractérisé par une C.E_s comprise entre 2-4 mS/cm pour les sols sableux et entre 3-6 mS/cm pour les sols à texture fine.
- * **Sous-groupe des sols sursalés:** caractérisé par une C.E_s >4 mS/cm pour les sols sableux et >6 mS/cm pour les sols à texture fine.

Le schéma ci-après résume les classes, les sous-classes, les groupes et les sous-groupes.

CLASSES		SOUS-CLASSES		GROUPE		SOUS-GROUPES
Salisols sulfatés	→	Peu salé		Typique		Nappe superficielle
		Moyennement salé	→	Neutre à alcalin	→	Nappe peu profonde
		Sursalé		Acide à jarosite		Nappe profonde
Sols potentiellement sulfatés acides salés	→	Thiosol typique	→		→	Modal
		Thiosol sulfurique		Sursalé		Horizon tourbeux
Sols sulfaté acides à jarosite salés (Sulfatosols)	→	Jarosite jeune	→	Sursalé	→	Modal
						Horizon tourbeux
						Gypsique
		Jarosite hydrolysée	→	Horizon marron		Peu salé
				Taches jaunâtres	→	Moyennement salé
				Taches ocre-rougeâtres		Sursalé
				Taches et horizons rhodiques		
				Hydromorphe	→	Peu salé

CHAPITRE 7

ADAPTATION DE LA VEGETATION NATURELLE A LA SALINITE ET A L'ACIDITE

7.1 Introduction

L'interprétation des photos aériennes de 1969 et les investigations menées sur le terrain ont révélé l'existence d'une végétation luxuriante plus abondante que maintenant. Cette végétation a été sérieusement dégradée au fil des années particulièrement par les effets de la sécheresse, la sursalure et l'acidité. Malgré cette dégradation, certaines unités du paysage restent encore couvertes de végétation. Mais sa composition et son importance varient selon les caractéristiques des unités géomorphologiques. Ce sont les zones de glacis de raccordement et des terrasses hautes qui présentent la végétation la plus dense composée d'espèces forestières et herbacées (chap. 2). Quant aux terrasses moyennes elles sont principalement occupées par une végétation herbacée parfois localement arbustive plus ou moins dense.

La distribution et l'importance de la végétation sont liées d'une part à la salinité et à l'acidité, et d'autre part à la texture des sols.

Afin de mettre en évidence, d'une part l'influence de ces deux facteurs sur la distribution de la végétation, et d'autre part de déterminer les seuils limites de présence des différentes espèces, nous avons mené des études sur les relations sol-végétation dans des sites types.

Ce chapitre donne des indications sur le comportement et les mécanismes d'adaptation à la salinité et l'acidité des principales espèces forestières.

7.2 Méthode d'études

Au niveau des différentes unités géomorphologiques nous avons déterminé les principales espèces présentes et décrit leur comportement végétatif et leur position topographique.

Des profils ont été ouverts et décrits au niveau de chaque unité géomorphologique. Le pH et la conductivité électrique des échantillons prélevés des différents profils ont été mesurés in situ (lorsque c'était possible) et au laboratoire. La profondeur et la qualité (pH et C.E) des nappes phréatiques ont été également déterminées. Compte tenu des variations saisonnières de la salinité, de l'acidité et de la profondeur des nappes phréatiques les échantillons analysés ont été prélevés à la fin de la saison des pluies (octobre 1986) et de la saison sèche (mai 1987). Ces deux périodes donnent, respectivement, les valeurs minimales et maximales de pH et C.E.

Nous avons également étudié les systèmes d'enracinement des espèces forestières afin de déterminer la profondeur utile* des sols.

7.3 Résultats et discussions

7.3.1 Comportement des différentes espèces

Le tableau 11 donne la liste des espèces inventoriées, la C.E et le pH des sols et des nappes sur lesquels on les a rencontrées.

Les espèces les plus caractéristiques sont *Acacia seyal*, *Combretum glutinosum*, *Mitragyna inermis*, *Borreria verticillata*, *Andropogon pseudopicus*, *Ctenium elegans*, *Phyloxerus vermicularis*, *Chloris pilosa* et *Eragrostis spp.* Certaines espèces telles que *Conocarpus erectus* et *Sesuvium portulacastrum* ne se rencontrent qu'aux alentours des chenaux de marée et des marigots. Les autres espèces telles que *Acacia senegal*, *Acacia nilotica* et *Balanites aegyptiaca* accompagnent *Acacia seyal* et n'occupent jamais de superficie monospécifique importante.

La répartition et l'importance de ces différentes espèces à travers les unités du paysage révèlent une influence assez nette de la salinité, de l'acidité et de la texture du sol. Cette dernière intervient au niveau des exigences physiques édaphiques propres à l'espèce.

* Profondeur exploitée par les racines des plantes.

Le comportement des espèces dépend de la capacité de tolérance de chacune d'elles. C'est ainsi que nous distinguons des espèces halophiles et acido-halophiles.

7.3.1.1 Espèces halophiles

Ces espèces dites halophytes, supportent de forte concentration des sels dans le sol. Elles poussent naturellement dans les milieux salés et manifestent une grande résistance à la salinité jusqu'à des conductivités électriques de pâte saturée supérieures à 20 mS/cm. Mais elles supportent mal l'acidité.

Parmi ces espèces certaines peuvent être considérées comme des "halophytes strictes". Leur installation nécessite la présence de sels solubles dans le milieu. De ce fait elles ne se rencontrent que dans des sols salés. Ces espèces sont peu nombreuses et sont constituées par *Tamarix senegalensis*, *Parkinsonia aculeata*, *Rhizophora spp.* et *Avicennia*. D'après Tomlinson (1986) *Avicennia* peut supporter jusqu'à 2 fois la C.E de l'eau de mer (45-46 mS/cm), soit 90-92 mS/cm.

Les autres dites "halophytes facultatifs", ne sont pas liées à la présence de sels dans le milieu, mais dépendent surtout des autres conditions telles que pH et texture des sols. C'est le cas de *Acacia seyal* dont la présence est conditionnée par la présence des carbonates de calcium (CaCO_3) qui maintiennent le pH du sol à des valeurs supérieures à 6,5 et par une texture fine des matériaux. C'est aussi le cas de *Mitragyna inermis* que l'on ne rencontre que sur des sols à texture fine limono-argileuse, engorgés en hivernage.

Les résultats du tableau 11 donnent les types de sols, le niveau de salinité et du pH et les espèces correspondantes.

7.3.1.2 Espèces acido-halophiles

Les espèces dites "Acido-halophytes", sont des espèces qui tolèrent à la fois l'acidité et la salinité du sol. Leur présence dans le milieu naturel semble dépendre de ces deux facteurs. Elles présentent généralement des seuils de résistance assez élevés. Elles peuvent tolérer des sols très acides, avec des pH inférieurs à 4. Parmi ces espèces on trouve prin-

cipalement *Borreria verticillata* et *Combretum glutinosum* qui colonisent les sols acides des glacis de raccordement. Elles y constituent des peuplements denses à très denses. C'est le cas aussi de *Lansea acida* qui colonise les sols acides des terrasses hautes à pH compris entre 4,5 et 4,0. D'autres espèces peu répandues telles que *Conocarpus erectus*, *Phylloxerus vermicularis* et *Sesuvium portulacastrum* sont extrêmement résistantes, poussant même à des pH de l'ordre de 3,5 et à des C.E_s supérieures à 8 mS/cm.

7.3.2 Mécanismes d'adaptation des espèces

Pour résister aux contraintes du milieu les espèces mettent en œuvre un certain nombre de mécanismes permettant d'adapter leur fonctionnement physiologique et leur développement morphologique. Parmi ces mécanismes le développement du système racinaire paraît un bon critère d'adaptation de l'espèce aux contraintes du milieu.

Les recherches que nous avons menées sur l'enracinement des principales espèces arbustives forestières ont montré une relation étroite entre le type de système racinaire et les contraintes des sols. C'est ainsi que dans tous les sols caractérisés par la présence d'un horizon superficiel à pH très acide et salé, les plantes présentent un système racinaire traçant limité aux 20 à 30 premiers centimètres du sol, comme le révèlent les photos 7 et 8. Cette tranche de sol est généralement plus favorable à un bon développement de la végétation que celle au-dessous.

Le développement du système racinaire superficiel constaté ici peut être considéré comme un mécanisme d'adaptation aux contraintes du milieu, car dans les sols non salés et non acides ces espèces possèdent un enracinement plus profond.

7.4 Conclusion

Les résultats de cette étude semblent montrer que tout se passe comme si la salinité et l'acidité jouaient une action sélective sur la présence et la distribution spatiale des espèces. L'action de la salinité serait

Tableau 11: Exigence texturale et seuils de tolérance à l'acidité et à la salinité des espèces végétales colonisant les tannes.

ESPECES	UNITES GEOMORPHOLOGIQUES	CARACTERISTIQUES DES SOLS		
		TEXTURE	pH	C.E ₅ (mS/cm)
HALOPHYTES Facultatifs				
Acacia seyal	Terrasse haute	limono-argileuse	5,5-9	<5
Acacia nilotica	Terrasse haute	limono-argileuse	5,5-9	<2
Acacia senegal	Terrasse haute	sablo-argileuse	5,5-9	<2
Balanites aegyptiaca	Terrasse haute et GR	sableuse	5-7,0	<1
Acacia adansonii	Terrasse haute	argilo-sableuse	5,5-8	<1
Adansonia digitata	Terrasse haute	argilo-sableuse	>5	<2
Bauhinia rufescens	Terrasse haute	argilo-sableuse	>5	<3
Pyliostigma reticulata	Glacis de raccordement	sableuse	>5	<1
Calotropis procera	Terrasse haute	sableuse	5-7	<2
Andropogon gayanus	Terrasses moyennes	sableuse à	5-7	<2
Andropogon pseudopicus	et hautes et glacis	sablo-limoneuse	5-7	<2
Eragrostis tremula	de raccordement	"	5-7	<2
Eragrostis squamata	"	"	5-7	<2
Sesbania pachycarpa	"	"	>5	<3
Colicynthis vulgaris	"	"	>5	<1
Marsilea cremulata	"	"	>5	<1
Walthera indicata	"	"	>5	<1
Jacquemotia tamifolia	"	"	>5	<1
Merrua tridentata	"	"		<1
Peristrophe bicalyculata	"	"		<1
Cassia terra	"	limono-argileuse	5-8	<2
Cassia occidentalis	"	limono-argileuse	5-8	<2
HALOPHYTES STRICTS				
Parkinsonia aculeata	Terrasse moyenne	limono-sableuse	4,5-6	0,5-7
Tamarix senegalensis	Terrasse moyenne	limono-sableuse	4,5-8	0,3-8
Rhizophora racemosa	Terrasse moyenne	limono-sableuse	7-8	1-10
Avicennia africana	Terrasse moyenne	limono-sableuse	<6	3,5-20
ACIDO-HALOPHYTES				
Borreria verticillata	Toutes	sableuse et limono-argileuse	3,5-6,0	<5
Lansea acida	Terrasses moyennes	sablo-limoneuse	4-5,5	<2
Mitragyna inermis	Bordure de terrasses hautes	sablo-limoneuse	4,5-7	0,5-5
Combretum glutinosum	Glacis de raccordement	sableuse peu limoneuse	4,5-6	<1
Conocarpus erectus	Terrasses basses et chenaux	limono-argileuse	3,5-5	3,5-15
Phyloxerus vermicularis	Terrasses basses et moyennes	limono-argileuse	<5	0,5-2
Sesuvium portulacastrum	Terrasses basses	limono-argileuse		2-8
Cyperus esculentus	dépressions	limono-argileuse	4-5	<1
Sporobolus robustus	Terrasses moyennes	sableuse et sablo-limoneuse	<5	<4
Heleocharis spp.	Terrasses moyennes	sablo-limoneuse	<5	<4
Ctenium elegans	Terrasses moyennes	sableuse	4-7	1-2

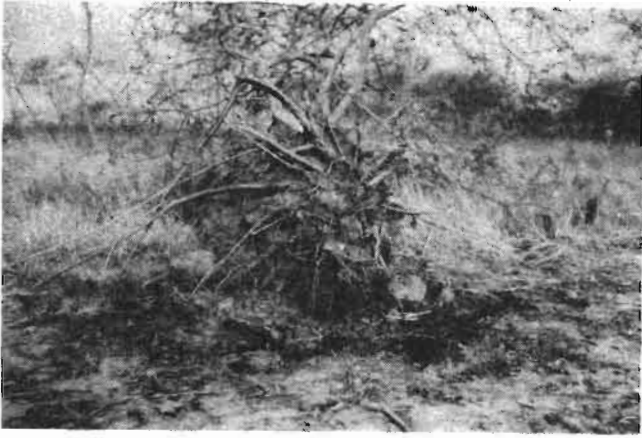


Photo 7: Adaptation du système racinaire de *Acacia seyal* sur les terrasses hautes à sols salés sulfatés sur matériaux sulfatés acides superficiels. Racines superficielles (20 à 30 cm).



Photo 8: *Conocarpus erectus* sur sol sulfaté acide à jarosite sursalé. Enracinement superficiel 30 cm. Couche de sels ~ 8 cm. Les petites taches blanches verticales = jarosite.

plus sélective que celle de l'acidité qui se résume à une présence ou absence.

La résistance d'une espèce à la salinité et l'acidité dépend tout d'abord de ses caractéristiques et puis de sa capacité à pouvoir adapter son système racinaire aux conditions du milieu.

Les recherches n'ont pas cependant permis de déterminer de façon précise les seuils de tolérance des différentes espèces et de mettre en évidence l'influence de la nappe phréatique. Elles devront donc être poursuivies.

CHAPITRE 8

ETUDE DES CONTRAINTES DE MISE EN VALEUR FORESTIERE DES SOLS SALES ET SULFATES ACIDES SALES

8.1 Introduction

Depuis l'installation de la sécheresse persistante, la mise en valeur agricole (sensu lato) des sols salés et sulfatés acides salés se confronte à deux principales contraintes qui sont la salinité excessive et la forte acidité. Celles-ci entraînent dans les sols de fortes concentrations en éléments toxiques qui limitent considérablement le développement des cultures.

La baisse des rendements agricoles engendrée par ces contraintes a entraîné les paysans à abandonner les terres de cultures situées en bordure des tannes, jadis non affectées par la salinité et l'acidité. La sursalure et l'acidification ont aussi entraîné de forte mortalité des reboisements initiés vers les années 1966-1968 dans le but de la production de bois de feu. Ainsi actuellement plus de 70 000 ha de terres affectées par ces deux contraintes sont inexploitées malgré la crise alimentaire et celle de bois d'énergie, à cause de la dégradation de la fertilité des sols.

Mais aujourd'hui la satisfaction des besoins alimentaires et énergétiques d'une population de plus en plus nombreuse rend encore nécessaire plus que par le passé la mise en valeur de ces terres. Les échecs enregistrés par les premières tentatives de reboisement de ces terres révèlent à la fois la complexité du milieu et la nécessité d'adopter une approche méthodologique adéquate.

En effet, la mise en valeur des sols salés ou sulfatés acides est avant tout une question d'approche et de savoir faire, comme l'ont montré de nombreuses expériences menées dans de nombreux pays: Inde (Ponamperuma et al., 1973; Tomar et al., 1985); Afrique du nord et Moyen orient (FAO, 1972; Boyko, 1966).

Afin de mieux connaître l'action de ces deux contraintes sur la croissance des plantes, nous avons étudié en relation avec les autres paramètres édaphiques, (texture, réserves hydriques) le comportement de quel-

ques plantations forestières et des formations naturelles sur différents sites. L'étude a été menée sur des plantations forestières réalisées par le Service forestier du Sénégal entre 1965 et 1967, et, par la Recherche forestière (ISRA/ DRPF) dans deux zones climatiques du Sénégal: Niayes et Sine Saloum (fig. 1).

8.2 Diagnostique des contraintes sur le terrain

Le diagnostic a porté sur les principales caractéristiques des sols: texture, profondeur utile, réserves hydriques, pH, salinité et nappes phréatiques.

Les recherches ont été menées entre mai 1984 et mai 1985 sur des plantations forestières réalisées sur les sols salés des Niayes (MBoro et Lac Tanma) et les sols sulfatés acides salés du Sine Saloum (Ngan et Keur Mactar).

8.2.1 Sites d'étude

Quatre plantations forestières représentatives des reboisements sur sols salés et sols sulfatés acides salés comportant diverses espèces ont été choisies.

Dans les sols salés des Niayes, deux plantations ont été choisies à MBoro et Lac Tanma, réalisées entre 1964 et 1966 et couvrant respectivement 45 ha et 264 ha. Elles comportent des parcelles monospécifiques de *Eucalyptus camaldulensis*, *Melaleuca leucadendron*, *Melaleuca quinquinervia* et *Casuarina equisetifolia*.

Dans les sols sulfatés acides salés du Sine Saloum deux parcelles ont été également choisies à Keur Mactar et à Ngan. Celle de Keur Mactar a été réalisée en 1971 dans le cadre des recherches d'afforestation des sols salés et couvre une superficie de 40 ha. Elle comporte *Melaleuca leucadendron*, *Melaleuca quinquinervia* et *Melaleuca viridiflora*. La plantation de Ngan, réalisée en 1980 dans le cadre de reboisement villageois des tannes, comporte seulement *Eucalyptus camaldulensis* et couvre une superficie de 20 ha.

Au niveau de chaque plantation nous avons délimité de petits placeaux en fonction de 3 critères: forte mortalité, faible mortalité et absence de mortalité. Selon la superficie occupée par la plantation, 2 à 3 placeaux d'observation, de 49 arbres chacuns ont été choisis. Dans les plantations composées de plusieurs espèces, les placeaux ont été délimités en fonction de chaque espèce. C'est ainsi que le nombre de placeau est de 4 à MBoro, 16 au Lac Tanma, 20 à NGan et 7 à Keur Mactar.

8.2.2 Etude des sols

Dans les différents placeaux nous avons caractérisé les types de sols à partir des profils et de sondages à la tarière et effectué des suivis sur la variation saisonnière du pH, de la salinité et des nappes phréatiques. Quatre périodes d'observation ont été retenues: mai 1984, octobre 1984, mars et juin 1985.

Les résultats d'analyses ont montré des différences significatives sur la texture, le niveau de salinité et le pH des sols.

De manière générale, à l'exception de ceux du Lac Tanma constitués principalement de sables (90 à 95%) associés à des amas de coquillages, tous les sols sont caractérisés par une texture sablo-limoneuse.

Les sols du Sine Saloum se distinguent des autres par leur forte salinité et des pH très acides (tab. 8.1 à 8.7, An. IV). Les sols du Lac Tanma sont peu affectés par la salinité qui demeure nettement inférieure à 1,5 mS/cm dans la plupart des cas, mais présentent des nappes phréatiques très salées et peu profondes.

Dans tous les sites les études ont mis en évidence la présence de nappes phréatiques salées et acides ou non à des profondeurs variables.

Pendant l'hivernage, on constate dans tous les sites une diminution de la salinité du sol dont l'importance varie avec la texture et le site, et une remontée de la nappe vers la surface.

8.2.3 Etude de la végétation

Au niveau de chaque placeau nous avons estimé et suivi l'évolution du taux de mortalité et la croissance en hauteur et circonférence des arbres.

Les périodes de suivi sont les mêmes que celles de l'étude des facteurs pédologiques. La mortalité différencie de manière significative les sites et les espèces.

8.3 Mise en évidence des facteurs de mortalité

La mise en évidence des facteurs de mortalité des différentes essences étudiées a été faite à partir de l'analyse statistique de corrélation entre les facteurs pédologiques et la végétation par la méthode de régression linéaire et de l'analyse en composantes principales (ACP).

8.3.1 Méthode de "régression linéaire"

Les différents paramètres édaphiques étudiés (Humidité, pH et C.E) ont été analysés individuellement avec le taux de mortalité sur l'ensemble des points d'observation.

8.3.1.1 Humidité du sol

Les réserves hydriques mesurées sur des échantillons de sol prélevés au moment de l'étude sur le terrain, sont dans l'ensemble faibles et ne permettent pas d'expliquer à elles seules de façon significative la mortalité.

Les coefficients de corrélation entre l'humidité et le taux de mortalité sont dans l'ensemble faibles et inférieurs à 0,40.

8.3.1.2 pH

L'action du pH paraît significative seulement dans les sites de Ngan et Keur Mactar. En effet, dans ces deux sites on rencontre des pH très acides, avec des valeurs parfois de l'ordre de 2,8.

Dans toutes les zones à pH très acides le taux de mortalité est très élevé. L'analyse révèle une bonne corrélation entre le pH et le taux de mortalité, avec un coefficient $R = 0,76$. L'équation de la droite est:

$$Y = - 13,38 \times \text{pH}_n + 135,38 \quad (\text{Eq. 18})$$

où:

Y = mortalité en %

pH_n = pH nappe

Ceci montre que le taux de mortalité croît lorsque le pH diminue. A partir d'un pH égal ou inférieur à 3,2 on enregistre une mortalité totale (100%).

8.3.1.3 Salinité

Quel que soit le site considéré, il existe une bonne corrélation entre la salinité et le taux de mortalité des arbres. La mortalité augmente progressivement avec la salinité jusqu'à un seuil limite, au-delà duquel elle est égale à 100%. Dans les sols peu salés et moyennement salés l'analyse révèle une influence plus nette de la salinité de la nappe sur la mortalité, alors que dans les sols sursalés c'est plutôt la salinité du sol.

C'est ainsi que la mortalité est liée à la C.E par les relations:

$$\text{Salinité du sol:} \quad M = 9,5 \times \text{C.E}_s + 33,32 \quad (\text{Eq. 19})$$

où:

M = mortalité en %,

C.E_s = conductivité électrique de l'extrait au 1/5 (25°C),

Coefficient $R = 0,86$.

La mortalité est de 100% pour une $\text{C.E}_s > 4-6$ mS/cm.

$$\text{Salinité de la nappe:} \quad M = 2,85 \times \text{C.E}_n - 33,2 \quad (\text{Eq. 20})$$

Coefficient $R = 0,80$.

A partir d'une $\text{C.E}_n = 35$ mS/cm le taux de mortalité est de 100%.

Dans les milieux sulfatés acides (Ngan et Keur Mactar) l'action de la salinité semble être masquée par l'interaction de l'acidité. Cela explique les coefficients plus faibles obtenus dans ce site et qui sont $R = 0,67$ pour la salinité du sol et $R = 0,62$ pour la salinité de la nappe. Les équations sont, respectivement:

$$Y = 5,96 \text{ C.E}_s + 46,5 \quad (\text{Eq. 21})$$

et

$$Y = 0,45 \text{ C.E}_n + 38,88 \quad (\text{Eq. 22})$$

8.3.1.4 Conclusion

Les faibles coefficients trouvés dans la plupart des cas, semblent montrer que les facteurs étudiés n'agissent pas sur la mortalité des arbres de façon séparée mais simultanée.

Cette méthode d'analyse statistique ne permet donc pas de mettre en évidence de manière très nette l'influence des diverses contraintes sur la mortalité des arbres.

8.3.2 Méthode d'analyse en composantes principales (ACP)

Afin d'étudier l'interaction des facteurs et d'en déterminer le plus important sur la mortalité des arbres, nous avons utilisé la méthode "Analyse en Composantes Principales". Cette méthode permet:

- d'intégrer plusieurs variables à la fois,
- d'étudier les liaisons entre les variables,
- de mettre en évidence les variables les plus discriminantes,
- d'obtenir une image simplifiée sur des plans discriminant au maximum les facteurs.

Pour mettre en évidence les facteurs discriminants, l'analyse a porté dans un premier temps sur 6 variables (humidité-sol, pH-sol, CE-sol, profondeur-nappe, pH-nappe et CE-nappe) (tab. 8.1 à 8.4, Ann. IV) dans l'ensemble des sites. Dans un second temps, nous avons cherché à déterminer un effet horizon en analysant seulement quatre variables (profondeur-horizon, pH-sol, CE-sol et humidité), sur le site de Ngàn (tab. 8.5 à 8.7, An. IV).

Les variables étudiées ont été ensuite représentées sur un cercle de rayon 1 grâce aux valeurs des vecteurs propres selon les trois premiers axes. Les numéros des images représentent les points d'observation (tab. 8.1 à 8.4, An. IV).

8.3.2.1 Corrélation entre les facteurs de croissance

Le tableau 12 donne les coefficients de corrélation entre les différentes variables.

Tableau 12: Matrice de corrélation (C) des variables dans les sites de Ngan, Keur Mactar, Lac Tanma et Mboro.

Variables	Humidité (sol)	pH (sol)	C.E _s	Profondeur (nappe)	pH (nappe)	C.E _n
Humidité (sol)	1,00					
pH (sol)	- 0,14	1,00				
C.E _s	- 0,16	- 0,33	1,00			
Profondeur (nappe)	0,47	- 0,06	- 0,30	1,00		
pH (nappe)	0,26	0,53	- 0,47	0,42	1,00	
C.E _n	- 0,25	- 0,19	0,74	0,26	- 0,31	1,00

Seules l'humidité et la profondeur, la C.E_s et C.E_n, et pH_{sol} et pH_{nappe} révèlent une bonne corrélation.

L'analyse s'avère assez puissante car les trois premières composantes absorbent 82,4% de la variance associée (tab. 13). Les composantes 1 et 2 se révèlent les plus intéressantes car elles absorbent 66,7% de la variance associée.

La première composante (Axe 1) avec 43,3% de la variance est liée à la variable C.E_n et secondairement à pH-nappe et C.E_s. La deuxième composante (Axe 2) avec 23,4% de la variance associée, est liée à la profondeur de la nappe, à l'humidité et au pH sol. Quant à la troisième composante, elle est liée aux mêmes variables que l'axe 1.

8.3.2.2 Interprétation des résultats

L'analyse des images révèle l'existence de trois groupes de points répartis selon les axes 1, 2 et 3:

- un groupe d'individus situés à droite de l'axe 1;

Tableau 13: Valeurs propres et % de variances associées.

Axes	Valeurs propres	% variance	% cumulés
1	2,6	43,3	43,3
2	1,4	23,4	66,7
3	0,9	15,7	82,4
4	0,5	9,0	91,4
5	0,3	4,9	96,3
6	0,2	3,8	100,0

- un deuxième groupe à droite de l'axe 2, avec un grand nombre d'invidus situés plus proche du centre du cercle;
- un troisième groupe situé vers le bas, de l'axe 2.

Groupe 1

Le comportement de ces individus s'explique par la salinité du sol et de la nappe, et par le pH de la nappe. Ils sont caractérisés par des taux de mortalité très élevés, de l'ordre de 100%. L'influence du pH sur la mortalité est très nette à partir de 3,2, comme le révèle l'axe 3 qui discrimine les individus P.2, P.11, P.12 et P.25, dont les pH sont tous inférieurs à 3,0 (fig. 46).

Groupe 2

Ce groupe est essentiellement composé par les individus du site de Ngan. On constate un détachement de P.15, 16, 18, 20, 21, 22 et 45 par rapport aux autres disposés plus près du centre.

Le comportement de ces individus livre les enseignements suivants:

- Lorsque la nappe est profonde son influence ne se fait pas sentir sur la mortalité des arbres. C'est ainsi que malgré une salinité très élevée, la mortalité reste inférieure à 50% en P.15, P.4, P.16, P.19, P.20, P.17, P.14 et P.3 caractérisés par des nappes situées entre 360 et 430 cm. Par contre la proximité de la nappe de la surface du sol accentue l'action de la salinité, comme le révèlent P.1 et P.10.

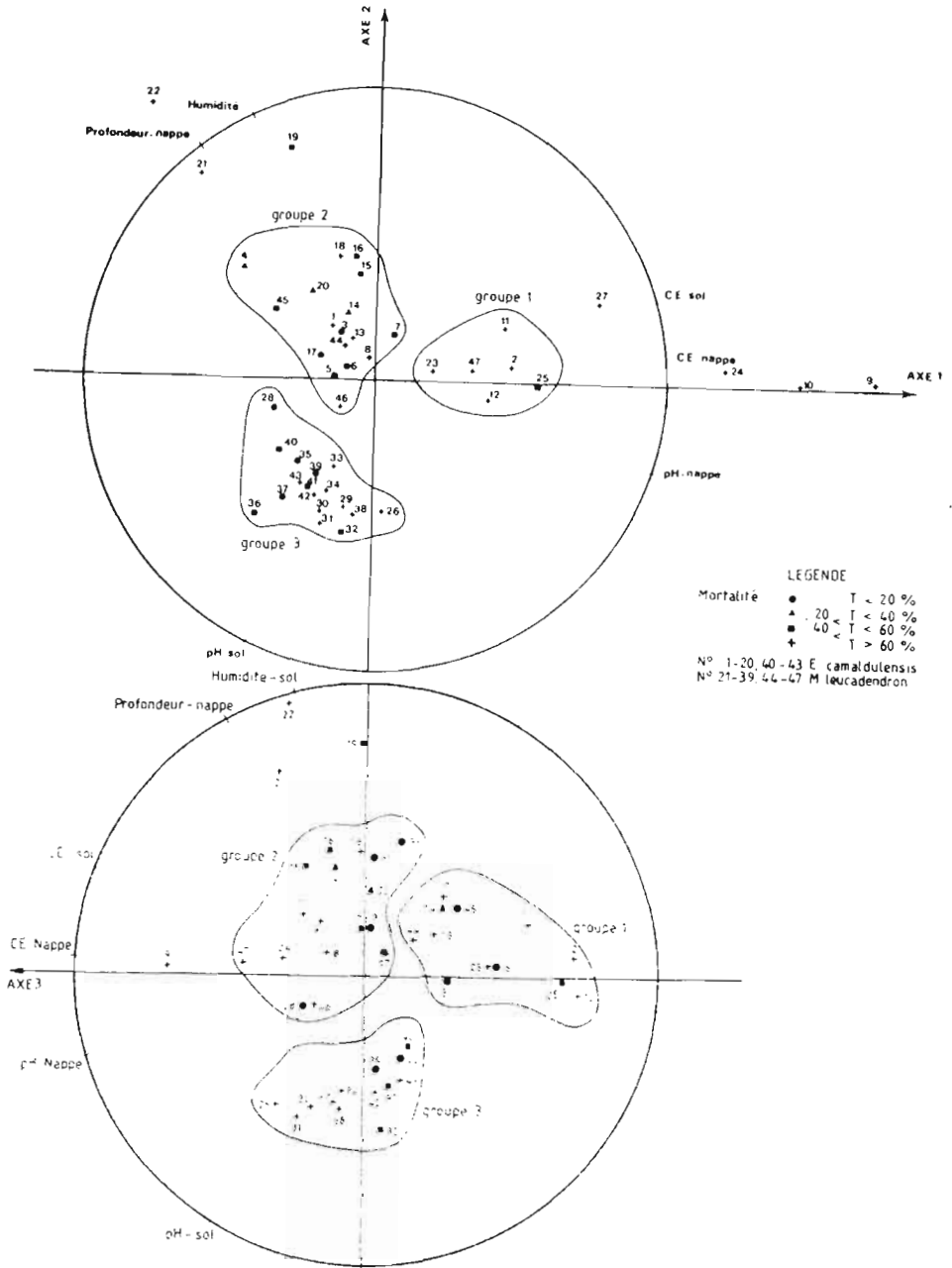


Figure 46: Représentation graphique dans les plans composés par les axes 1, 2 et 3, du taux de mortalité des arbres sur sols salés et sulfatés acides salés.

- L'action de l'humidité du sol semble être masquée par la salinité et l'acidité, quoique les résultats obtenus en P.13, caractérisé par une faible salinité, s'expliquent par le déficit hydrique.

Groupe 3

Ce groupe est constitué essentiellement par les individus des sites des Niayes (Lac Tanma et Mboro), situées à gauche de l'axe 2, plus près de la variable pH-sol (figure 46). Ils sont caractérisés par des pH élevés généralement supérieurs à 7,7 et par de faibles humidités. Ces deux facteurs ne semblent pas à eux seuls expliquer le comportement des arbres. En effet au niveau du Lac Tanma tous les points de forte mortalité correspondent à des nappes très salées ($C.E_n > 33$ mS/cm), tandis que ceux où les arbres sont encore en bon état (P.28, P.35, P.36, P.37 et P.39) ont une $C.E_n$ inférieure à 22 mS/cm.

Les deux facteurs (humidité et pH) étant peu variables d'un point à l'autre, c'est donc l'action de la salinité qui discrimine le comportement des arbres.

8.3.2.3 Mise en évidence d'un "effet horizon"

Les individus étudiés sont représentés par des échantillons de sols prélevés entre 0-30, 30-60, 60-90, 90-120 et 120-150 cm (tab. 8.5, An. IV). Cette approche cherche à mettre en évidence un "effet horizon" dont la $C.E_s$ ou le pH serait déterminant sur la mortalité des arbres.

La matrice de corrélation (tab. 14) montre que les facteurs sont faiblement liés entre eux et pour la plupart négativement. Seules l'humidité et la profondeur révèlent une bonne corrélation entre elles, avec un coefficient égal à 0,67.

Tableau 14: Matrice de corrélation (C) des variables du sol (NGAN).

	Profondeur	Humidité	pH (sol)	$C.E_s$
Profondeur	1,00			
Humidité	0,67	1,00		
pH (sol)	- 0,36	- 0,14	1,00	
$C.E$ (sol)	- 0,02	- 0,15	- 0,21	1,0

Les deux premières composantes absorbent 75,8% de la variance associée et sont les seules dignes d'intérêt.

La composante 1 (Axe 1) avec 45,8% de la variance associée semble être liée à la profondeur et secondairement à l'humidité, tandis que la deuxième composante (Axe 2) est liée à la CE-sol et au pH-sol avec seulement 30% de la variance associée (tab. 15). L'analyse des images (fig. 47) montre une distribution homogène des individus, formant deux nuages de points autour de la première composante.

Tableau 15: Valeurs propres et variances associées.

Axes	Valeurs propres	% variance	% variance cumulées
1	1,8	45,8	45,8
2	1,2	30,0	75,8
3	0,7	17,1	92,9
4	0,3	7,1	100,0

Le premier nuage de points situé à droite de l'axe 1 est composé d'individus caractérisés par une humidité assez élevée et une profondeur de l'horizon supérieure à 90 cm. On constate une opposition entre les individus situés en haut de l'axe et les autres disposés au-dessous.

Les premiers sont caractérisés par des pH assez bas généralement inférieurs à 3,9 alors que les seconds ont des pH supérieurs à 4,4. En outre, les individus situés en haut de l'axe révèlent une forte mortalité, ce qui semble mettre en évidence un effet significatif de l'acidité du sol.

Le second nuage situé à gauche de l'axe 1 est composé d'individus provenant de la partie supérieure du sol et caractérisés par une humidité faible. Il ne permet pas de discriminer le comportement des arbres.

La deuxième composante met en évidence une action déterminante de la salinité. En effet, tous les horizons dont la conductivité électrique est supérieure à 2,5 mS/cm sont situés plus près de la variable CE-sol, quelle que soit la profondeur ou l'humidité. Ils révèlent en outre une forte mortalité des arbres.

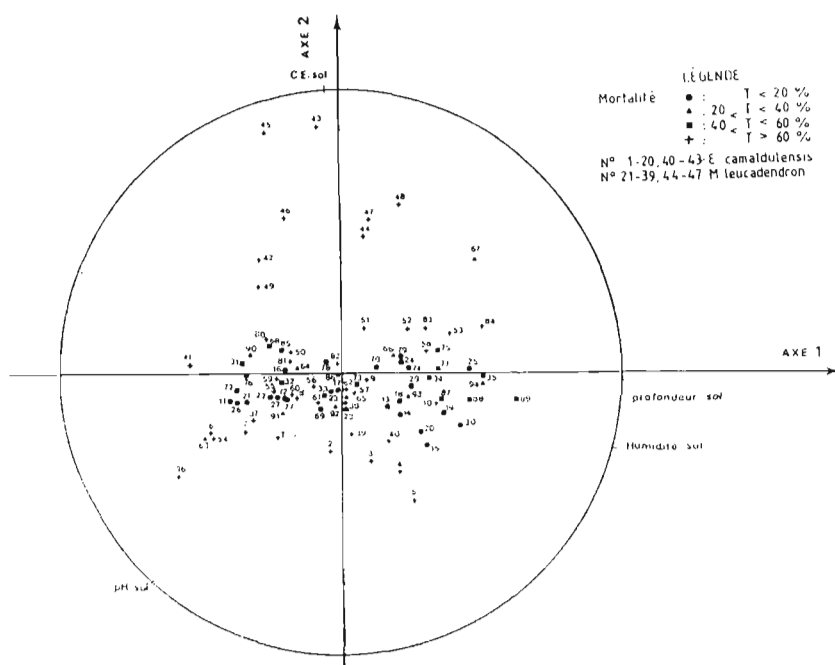


Figure 47: Représentation graphique dans le plan composé par les axes 1 et 2, du taux de mortalité des arbres sur sulfatés acides salés de Ngan.

8.4 Discussions et conclusions

L'analyse en composantes principales a permis de mettre en évidence les corrélations entre variables et de déterminer de façon plus nette que la régression linéaire les facteurs discriminants qui sont la salinité et l'acidité, liées à la première composante.

Seules les variables CE-sol et CE-nappes d'une part sont hautement et positivement corrélées, avec un coefficient $R = 0,74$, et d'autre part les variables humidité et profondeur de l'horizon, avec un coefficient $R = 0,67$.

Dans tous les sites et quelle que soit l'essence considérée, la salinité du sol et de la nappe se révèle la variable la plus discriminante.

Il semble exister un "effet horizon" assez net qui fait que les arbres accusent une mortalité élevée même si la salinité ou le pH moyen du sol est faible. Ceci montre donc que les valeurs moyennes sont sans signification dans le comportement réel des arbres.

Les autres facteurs tels que réserves hydriques et profondeur du sol interviennent secondairement mais de manière très discrète à tel enseigne que leur mise en évidence paraît difficile, compte tenu de l'action prédominante de la salinité et de l'acidité.

8.4.1 Influence de la salinité sur la mortalité des arbres

L'influence de la salinité sur les arbres se manifeste soit par une forte mortalité, soit par le ralentissement de la croissance. Le comportement des arbres dépend de la capacité spécifique de résistance de chaque espèce.

8.4.1.1 La salinité du sol

La salinité du sol ne peut pas être considérée isolément de celle de la nappe dans la mesure où elles sont assez bien corrélées et agissent en même temps. Selon les cas, elle peut ou non expliquer la mortalité des arbres plus que celle de la nappe. Son action paraît plus nette lorsque la nappe phréatique est peu salée. C'est ainsi qu'à Mboro, *Melaleuca leucadendron* accuse une forte mortalité en P.46 avec une $C.E_s = 3,8 \text{ mS/cm}$, malgré une conductivité électrique de la nappe de $23,5 \text{ mS/cm}$. D'ailleurs dans tous les sols où la $C.E_s$ est supérieure à 4 mS/cm , on remarque une mortalité quasi-totale pour *Melaleuca spp.* (P.26, P.27, P.46 et P.47). Ce seuil avait été situé à $2,6 \text{ mS/cm}$ par Niang (1985) dans une étude menée dans la station de recherche (ISRA/DRPF) de Keur-Mactar.

Eucalyptus camaldulensis disparaît dès que la $C.E_s$ dépasse $2,5 \text{ mS/cm}$ (P.9, P.10 et P.11).

8.4.1.2 Salinité de la nappe

Son action s'est révélée partout déterminante sur la mortalité des arbres. Cette action est plus nette dans les milieux où le sol est peu salé, comme le cas du Lac Tanma. En effet, dans ce site Benaricha (1985) a montré que la répartition de la mortalité des arbres correspondait parfaitement à celle de la qualité des nappes. Actuellement dans ce site, les

seuls endroits où les arbres sont encore en bon état correspondent à des zones où la nappe est à eau douce ou peu salée.

Toutefois, les résultats montrent que l'action de la nappe est conditionnée par sa profondeur. Plus la nappe est proche de la surface du sol plus son action sur l'arbre est nette. C'est ainsi que dans tous les cas des nappes très salées et de profondeur inférieure à 260 cm, remontant pendant l'hivernage jusqu'à moins de 1 m de la surface du sol, on enregistre une forte mortalité des arbres.

Dans le cas de nappes très profondes ne remontant jamais à moins de 2 m de la surface en hivernage, la mortalité est faible même à des salinités très élevées. Au niveau du Lac Tanma on enregistre une mortalité de 100% à partir de 35 mS/cm avec *Melaleuca leucadendron* pour une profondeur inférieure à 260 cm, alors qu'il ne se passe rien en P.28 où la profondeur est de 330 cm. Il en est de même au niveau de Ngan pour *Eucalyptus camaldulensis* en P.40 et P.41 qui, malgré une salinité de l'ordre de 57 mS/cm, *Eucalyptus camaldulensis* résiste avec un taux de survie supérieur à 50%, alors qu'il ne résiste pas à une salinité supérieure à 15 mS/cm (Sadio, 1985 et 1986b).

L'étude du système racinaire a permis de fixer la profondeur critique de la nappe à 100 cm. A moins de cette profondeur les racines des arbres plongent directement dans l'eau de la nappe, subissant ainsi une influence plus directe de la salinité. Ces résultats rejoignent ceux obtenus par Yadav (1981) sous des plantations forestières de *Casuarina equisetifolia* en Inde sur des sols salés alcalins à nappes peu profondes. Tomar et al. (1985) fixent la profondeur critique de la nappe à 80 cm pour les mêmes espèces dans des sols salés à plan d'eau superficiel en Inde.

8.4.2 Influence de l'acidité

Ce facteur, mis en évidence dans les sites de Ngan et Keur-Mactar, sur des sols sulfatés acides salés évolués, joue un rôle très important dans la mortalité des arbres. C'est ainsi que la mortalité chez *Eucalyptus camaldulensis* est attribuable à l'acidité dès que le pH est inférieur à 4,0 avec un taux de mortalité de 100% quelle que soit la salinité du milieu. *Melaleuca* spp. montre une meilleure résistance à l'acidité, supportant jusqu'à des pH de 3,5.

Son influence est due à la présence d'éléments nocifs tels que les sulfates (SO_4^{2-}), les ions aluminium (Al^{3+}), le fer ferrique (Fe^{3+}) et les protons (H^+) que l'on trouve en abondance dans ces milieux. Ces éléments sont très toxiques aux arbres qui finissent par disparaître par manque d'éléments nutritifs tels que Ca^{2+} , Mg^{2+} et K^+ indispensables à la constitution des tissus végétaux (Baule et Fricker, 1969).

L'action de l'acidité sur la mortalité des arbres a été nettement mise en évidence par les études menées par Ulrich (1983a, b et c), Mayer (1983), Abrahamsen (1983), Van Breemen et al (1984), Mulder (1988) et Grimsven (1988) dans les pays européens où les pluies acides entraînent la disparition des forêts à cause de la toxicité aluminique et sulfurique des sols.

CHAPITRE 9

ETUDE EXPERIMENTALE DE LA TOLERANCE AUX SELS DES ESSENCES FORESTIERES

9.1 Introduction

Le manque de méthodes d'approche dans la mise en valeur de ces sols qui est une des causes des échecs des reboisements dont nous avons parlés dans le chapitre 8, a entraîné l'utilisation d'espèces forestières "tout venant". En outre leur introduction dans les milieux n'a pas tenu compte des niveaux de salinité et d'acidité des sols.

Or, il se trouve d'une part que chaque espèce a son seuil limite de tolérance, et d'autre part la salinité et l'acidité varient considérablement d'un point à l'autre. De ce fait toute intervention pour être réussie doit tenir compte de ces faits.

Pour déterminer les seuils de tolérance des diverses espèces qui ont été utilisées dans les plantations antérieures et celles susceptibles d'être utilisées, nous avons entrepris au laboratoire des études expérimentales de résistance aux sels.

Compte tenu du fait que la plupart de ces espèces sont acido-tolérantes seule la salinité a été étudiée.

Ce chapitre traite de l'influence de la salinité sur la germination de semences et le comportement des essences forestières. L'objectif principal est de déterminer les seuils de tolérance à la salinité des diverses espèces afin de permettre leur meilleure utilisation sur les sols salés.

9.2 Influence de la salinité sur la germination des semences forestières

Pour saisir l'influence de la salinité sur la germination de semences forestières une expérience a été conduite au laboratoire, utilisant de l'eau salée à différentes concentrations, comme solution d'arrosage. Cette expérience a pour principal objectif de rentabiliser les ressources en eau de mauvaise qualité de la région lors des opérations de reboisement.

9.2.1 Méthodes d'études

L'expérience a été conduite au laboratoire et sous serre. Deux types de substrat ont été utilisés: coton hydrophile et sol sablo-limoneux humifère. Des graines de *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus microtheca*, *Melaleuca viridiflora* et *Melaleuca acacioides* ont été utilisées. Elles ont été humidifiées (coton) ou arrosées (sol) avec de l'eau de trois traitements T_0 (C.E < 0,02 mS/cm), T_1 (C.E = 2 mS/cm) et T_2 (C.E = 5 mS/cm). L'expérience sur coton hydrophile s'est déroulée à une température constante de 25°C.

Concernant le premier substrat les graines ont été déposées en surface et humidifiées par injection de la solution à l'aide d'une seringue de 10 ml, une fois par jour. Dans le deuxième cas les graines semées dans des germinoirs ont été arrosées par pulvérisation également une fois par jour.

9.2.2 Résultats

9.2.2.1 Coton hydrophile

La germination a été observée dans tous les traitements et pour toutes les espèces trois jours après le début de l'expérience. Mais après 10 jours on note l'apparition d'une couche de moisissure dans tous les traitements chez *Eucalyptus microtheca* et *Casuarina equisetifolia*. Cependant chez *Melaleuca spp.* elle n'a été observée que dans le traitement T_0 .

Le tableau 16 donne le nombre de graines germées pour 1g de semences par espèce et par traitement au bout de 14 jours d'expérience.

Tableau 16: Nombre de graines germées par traitement et espèce après 14 jours d'expérience (pour 1 g* de graines semées).

ESPECES	T_0 (C.E<0,02 mS/cm)	T_1 (C.E=2 mS/cm)	T_2 (C.E=5 mS/cm)
<i>Casuarina equisetifolia</i>	209	240	172
<i>Eucalyptus microtheca</i>	531	569	570
<i>Melaleuca viridiflora</i>	886	898	940
<i>Melaleuca acacioides</i>	698	986	906

* 1 kg de graines de *Casuarina equisetifolia* contient environ 760.000 graines (Turnbull et al., 1981).

Les résultats de ce tableau montrent de manière générale une stimulation de la germination avec l'augmentation de la salinité. *Casuarina equisetifolia* et *Melaleuca acacioides* montrent une meilleure germination en T_1 , respectivement, de 14,8% et 41,3%. *Eucalyptus microtheca* révèle une meilleure germination aux traitements T_1 et T_2 . Tout semble mettre en évidence que la présence de sels dans la solution stimule la germination jusqu'à un certain seuil qui dépend de la résistance spécifique de chaque espèce.

9.2.2.2 Germination sur sol sablo-limoneux humifère

La germination n'a été observée que 5 jours après le démarrage de l'expérience, chez *Eucalyptus microtheca* dans les traitements T_0 et T_1 . *Casuarina equisetifolia* et *Melaleuca acacioides* n'ont commencé à germer qu'au bout de 8 jours dans T_0 et T_1 , alors que *Melaleuca viridiflora* n'a germé qu'au bout de 13 jours dans T_0 et 16 jours dans T_1 . Dans le traitement T_2 seules *Eucalyptus microtheca* et *Casuarina equisetifolia* ont germé, respectivement, 14 et 15 jours après. Ces résultats concordent avec ceux obtenus par Turnbull et al. (1981) qui ont montré que chez *Casuarina equisetifolia* 50% des graines viables germent au bout de 14 jours.

Le tableau 17 donne les résultats obtenus après 75 jours d'expérience.

Tableau 17: Nombre de graines germées par espèce et par traitement après 75 jours (pour 1 g de graines semées).

ESPECES	T_0 (C.E<0,02 mS/cm)	T_1 (C.E=2 mS/cm)	T_2 (C.E=5 mS/cm)
<i>Casuarina equisetifolia</i>	835	594	137
<i>Eucalyptus microtheca</i>	270	326	36
<i>Melaleuca viridiflora</i>	884	663	0
<i>Melaleuca acacioides</i>	436	280	0

Ces résultats révèlent une tendance générale à la diminution du taux de germination lorsque la salinité augmente. A l'exception de *Eucalyptus microtheca* qui donne sa meilleure germination à T_1 , le traitement T_0 donne les taux les plus élevés dans toutes les autres espèces. On remarque une

forte sensibilité de la germination chez *Eucalyptus microtheca* et *Melaleuca* spp. lorsque la salinité augmente, avec des taux de germination chutant, respectivement, à 13% et 0% dans T₂ par rapport au témoin.

Après la germination on observe durant l'expérience une mortalité de certaines plantules. Celle-ci est plus marquée dans les traitements T₁ chez *Eucalyptus microtheca* et T₂ chez *Casuarina equisetifolia*. Chez *Melaleuca viridiflora* et *Melaleuca acacioides* la mortalité reste négligeable et n'a été observée qu'une seule fois.

Ces résultats montrent que l'utilisation d'une eau salée est bien possible dans la production des plants forestiers, à conditions de respecter le seuil de tolérance de chaque espèce.

La mauvaise germination obtenue avec le coton hydrophile chez *Casuarina equisetifolia* dans T₀ et T₁ pourrait s'expliquer par la sensibilité de cette espèce à l'obscurité et aux températures faibles. D'après Turnbull et al. (1981), la température idéale permettant une germination optimale de *Casuarina* est de 30°C, avec 12h de lumière et 12h d'obscurité.

9.3 Influence de la salinité sur la croissance de jeunes plants forestiers

9.3.1 Méthodes d'études

L'expérience a été conduite en "vase de végétation" en trois phases: décembre 1984 à juillet 1985, janvier à mai 1986 (Sadio, 1986b) et novembre 1987 à mars 1988. Son objectif est de déterminer les seuils de tolérance à la salinité des principales essences de reboisement susceptibles d'être utilisées dans les sols salés.

9.3.1.1 Seuils de tolérance

1. Dispositif expérimental

L'expérience a été conduite sur des seaux plastiques de 12 l remplis de sol sableux forestier. Les seaux ont été percés vers le bas d'un trou de

5 mm dans lequel est connecté un tuyau plastique (tubcristal) de même diamètre. Les tubes sont reliés par traitement dans des bidons de 10 l de manière à collecter les solutions drainées. Ils reposent sur des planches en bois déposées sur des tréteaux métalliques de 80 cm de haut, à l'air libre.

2. Essences

Neuf espèces ont été étudiées: *Casuarina equisetifolia*, *Casuarina glauca*, *Melaleuca leucadendron*, *Melaleuca viridiflora*, *Melaleuca quinquinervia*, *Melaleuca acacioides*, *Prosopis juliflora*, *Eucalyptus camaldulensis* et *Albizia lebbek*. Les traitements ont été appliqués à des plants âgés de 6 mois. Tous les 7 jours des mesures sur la hauteur et des observations phénologiques sont réalisées.

3. Traitements

Neufs traitements ont été appliqués sur toutes les espèces avec 6 répétitions par espèce. Ils sont obtenus à partir de l'eau de mer diluée (tab. 18).

Tableau 18: Traitements appliqués aux différentes essences (obtenus à partir de la dilution de l'eau de mer à 46 mS/cm).

Traitements	T ₀ (Eau de ville)	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈ (Eau de mer)
C.E (mS/cm)	<0,06	2,0	5,0	10,0	15,0	20,0	30,0	35,0	46,0
Dilution (%)	-	99,2	94,6	82,0	71,9	61,2	39,2	28,1	-

Chaque plant reçoit tous les 3 jours 1,5 l de solution du traitement correspondant. Après chaque arrosage la quantité d'eau percolée, sa C.E et son pH sont mesurées de manière à connaître, respectivement, la quantité d'eau évapotranspirée et la concentration des sels dans le seau.

9.3.2 Résultats

Les résultats de ces expériences révèlent un comportement différentiel des essences en fonction du niveau de salinité. Certaines se montrent très sensibles à l'augmentation de la salinité alors que d'autres ne sont affectées significativement qu'à des C.E très élevées.

Le comportement phénologique manifesté par les plants durant la période des expériences permet de distinguer trois groupes:

9.3.2.1 Espèces très résistantes

Ce groupe est constitué par *Casuarina equisetifolia* et *Casuarina glauca*. Les espèces se distinguent par leur extrême résistance à de fortes salinités. Elles se sont maintenues dans tous les traitements pendant toute la durée de l'expérience. Au bout de 20 jours on constate un jaunissement et rougissement des feuilles des plants du traitement T₈ qui ont chuté totalement au bout du 30-35e jour. Mais contrairement à ce que l'on constate chez les autres espèces, la chute des feuilles ne s'est pas traduite par une mortalité des plants. Les tiges sont restées vertes jusqu'à la fin de l'expérience. Elles ont débourré des axes feuillés au bout du 60^e jour, c'est-à-dire environ un mois après leur défoliation totale.

Comme chez les autres espèces, l'augmentation de la salinité se traduit par une diminution de la croissance, mais celle-ci demeure assez satisfaisante (fig. 48). Dans T₈ la croissance s'est arrêtée au bout de 20 jours, c'est-à-dire dès le démarrage du jaunissement.

9.3.2.2 Espèces résistantes

Ce groupe est constitué par *Prosopis juliflora* et toutes les espèces de *Melaleuca*. Elles se distinguent des précédentes par leur plus grande résistance. Les signes de mortalité apparaissent au bout de 14 jours dans le traitement T₈, mais celle-ci n'est effective qu'après 60 jours. Elle se manifeste d'abord par un dessèchement, puis jaunissement des feuilles qui chutent totalement au bout de 20 à 27 jours. On constate la présence de taches violettes sur les feuilles de *Melaleuca leucadendron*. Certaines espèces telles que *Melaleuca acacioides* et *Prosopis juliflora* gardent

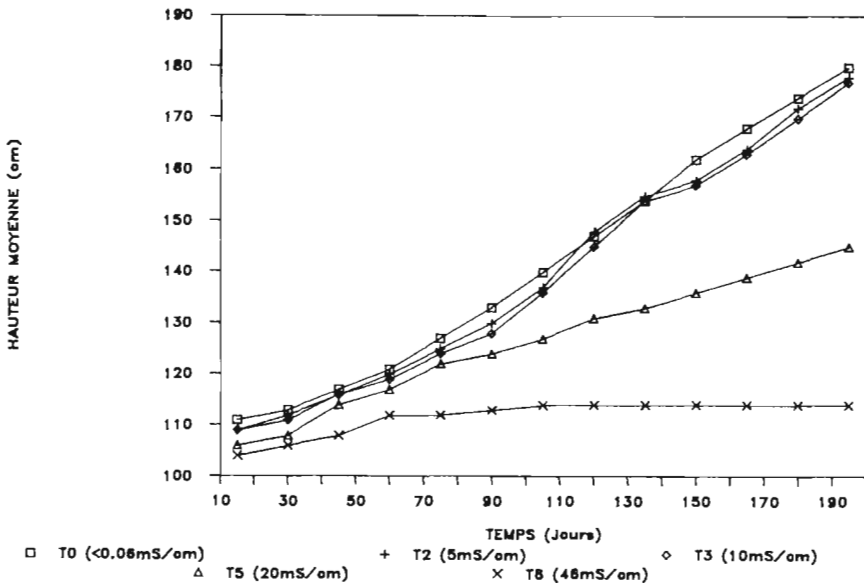


Figure 48: Evolution de la hauteur moyenne (cm) en fonction du temps et de la salinité chez *Casuarina* spp.

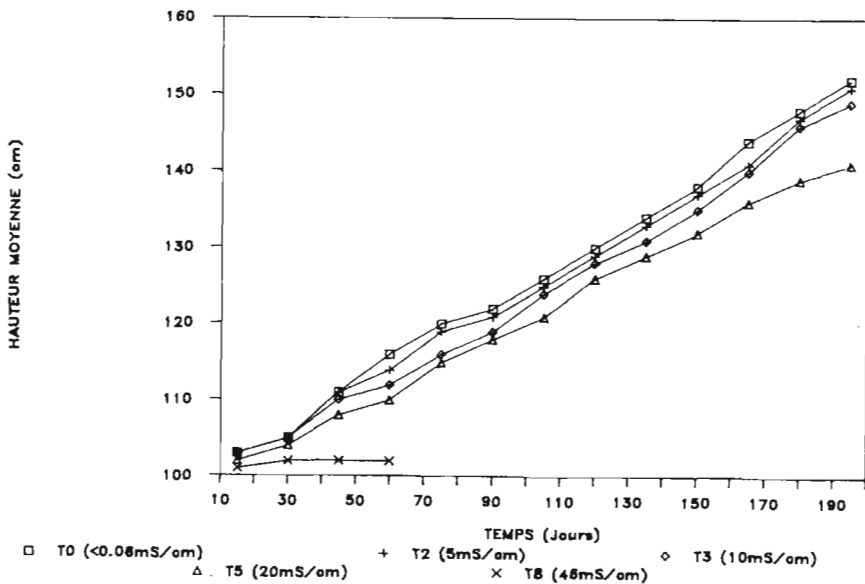


Figure 49: Evolution de la hauteur moyenne (cm) en fonction du temps et de la salinité chez *Melaleuca* spp.

leurs tiges vertes 15 à 20 jours après la chute des feuilles. Le dessèchement de la tige se fait progressivement de la cime vers le collet.

Tous les plants se maintiennent dans les autres traitements jusqu'à la fin de l'expérience, au bout de 195 jours.

La différence de croissance entre les traitements est peu significative jusqu'à 150 jours où l'on constate un décalage du traitement T₇ par rapport aux autres. La croissance se fait de façon rythmique (fig. 49).

9.3.2.3 Espèces sensibles

Ce groupe se compose de *Eucalyptus camaldulensis* et *Albizia lebbek*. Elles accusent une mortalité totale au bout de 7 à 10 jours sur le traitement T₈. Les signes de mortalité se manifestent par un dessèchement de la tige, une brûlure et une chute des feuilles et une nécrose des racines. Au bout de 30 jours tous les plants des traitements T₇ et T₈ sont morts, complètement desséchés. Les plantes sont tous morts au bout de 135 jours dans T₈. Tous les plants des autres traitements se sont maintenus jusqu'à la fin de l'expérience.

L'évolution de la croissance en hauteur (fig. 50) au cours de l'expérience montre une nette différence entre les traitements. Elle n'est significative qu'à partir de T₃, c'est-à-dire à une salinité supérieure à 10 mS/cm. Ces résultats se rapprochent de ceux obtenus par Turnbull et al. (1981) qui ont constaté une diminution significative de la hauteur chez *Eucalyptus camaldulensis* lorsque la salinité de la solution d'irrigation croît de 0 à 6 mS/cm.

Turnbull et al. (1981) ont trouvé que la hauteur moyenne de *Casuarina equisetifolia* était de -12 cm à 6 mS/cm par rapport à celle du témoin, ce qui témoigne d'une bonne résistance à la salinité de l'espèce.

9.3.3 Discussion et conclusion

Le comportement manifesté par les diverses espèces à l'égard de la salinité montre que la tolérance se fait de façon sélective.

Le dosage des éléments majeurs, réalisé sur les eaux des solutions de départ et percolées après 3 mois et à la fin de l'expérience, montre des différences en fonction des espèces et des traitements. Les ions Cl⁻ et

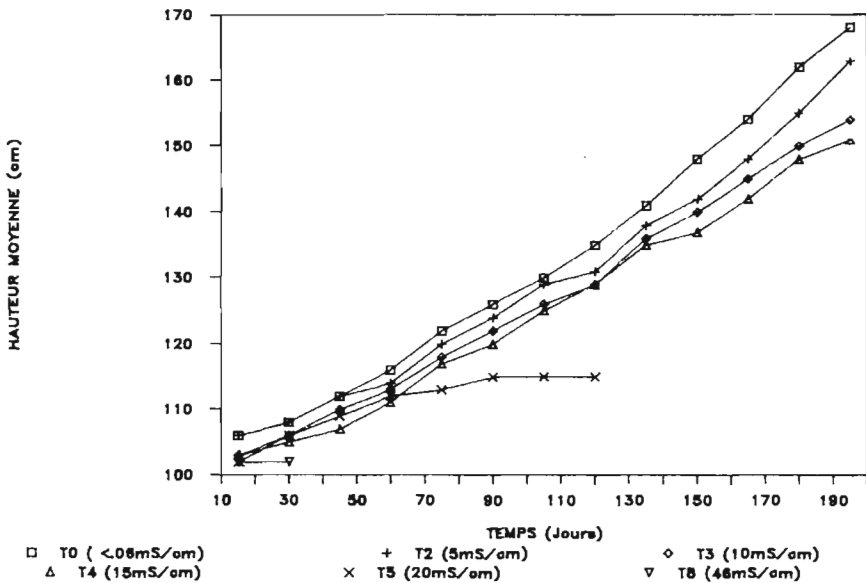


Figure 50: Evolution de la hauteur moyenne (cm) en fonction du temps et de la salinité chez *Eucalyptus camaldulensis*.

Na^+ augmentent avec la salinité et le temps quelle que soit l'espèce. Les concentrations de SO_4^{2-} diminuent dans les traitements T_0 et T_1 et augmentent dans tous les autres. Le potassium (K^+) semble manifesté le même comportement mais il ne diminue que dans T_0 . Le calcium (Ca^{2+}) diminue dans tous les traitements avec le temps et quelle que soit l'espèce. Quant au magnésium (Mg^{2+}), sa concentration augmente dans tous les traitements et chez toutes les espèces, à l'exception de *Eucalyptus camaldulensis* où elle diminue dans T_0 et T_1 .

En interprétant ces variations comme une conséquence des prélèvements des éléments par les plants, on peut donc affirmer que Ca^{2+} serait prélevé sélectivement par les plants quelle que soit la salinité et que SO_4^{2-} , Mg^{2+} et K^+ ne le sont que lorsque la salinité est faible. Les fortes concentrations de Cl^- et Na^+ résulteraient de la concentration des sels dans les seaux.

Tout semble indiquer que chaque espèce a un seuil de tolérance déterminé par ses propres mécanismes, au-delà duquel ces mécanismes ne peuvent

plus assurer sa survie. Ces mécanismes sont principalement d'ordre physiologique comme l'ont démontré les travaux de nombreux chercheurs (Dafni et al., 1978; Popp et al., 1984, 1985; Maas, 1986; Tomlinson, 1986). La plante résiste à la salinité en produisant des substances telles que de la proline (Popp et al., 1984) ou en prélevant sélectivement les ions de la solution (Kretinin et al., 1984). Certaines espèces ont la capacité de véhiculer l'excès d'ions, comme Cl^- et Na^+ , à la surface de leurs feuilles (Snedaker, 1978) ou de réguler leur potentiel hydrique cellulaire en fonction de la pression osmotique de la solution saline (Tomlinson, 1986).

Le comportement manifesté par les espèces durant les expériences nous permettent de déterminer leurs seuils de tolérance comme suit:

- 20 mS/cm pour *Eucalyptus camaldulensis* et *Albizia lebbek*;
- 35 mS/cm pour les espèces de *Melaleuca spp.* et *Prosopis juliflora*;
- entre 35 à 40 mS/cm pour les espèces de *Casuarina spp.*

La forte tolérance chez *Casuarina spp* confirme les résultats de Le Roux (1974), Dafini et al. (1978) et Tomar et al. (1985). D'après les études menées par ces auteurs *Casuarina equisetifolia* s'est révélée l'espèce la plus résistante de toutes celles expérimentées.

CHAPITRE 10

ESSAIS DE REBOISEMENT DES SOLS SULFATES ACIDES SALES

10.1 Introduction

Dans le cadre de l'étude des possibilités de mise en valeur agricole des sols salés sulfatés acides du Sénégal, nous avons entrepris des essais de reboisement des tannes du Sine Saloum.

Les essais ont été menés dans les tannes de Ngan (fig. 8) avec les principales essences forestières de reboisement résistant à la salinité et à l'acidité. Ils s'appuient sur les résultats des chapitres 4 et 7 à 9. L'objectif principal recherché par ces essais est de tester en conditions naturelles le comportement d'espèces dont la tolérance a été prouvée au laboratoire afin de sélectionner celles qui s'adaptent le mieux et répondent aux besoins des populations.

Les essais de reboisement des tannes du Sine Saloum aux années 1968 (Giffard, 1971), mais ils se sont soldés par des échecs.

Ce chapitre traite de l'introduction et du suivi sur 3 ans du comportement de diverses essences forestières dans deux sites différant par le pH et la texture des sols. Il présente également les différentes techniques susceptibles d'améliorer les facteurs de production et d'accroître la résistance des espèces.

10.2 Méthodes d'études

Afin de confirmer les résultats obtenus au laboratoire et de sélectionner celles qui sont les plus adaptées aux conditions du milieu, nous avons étudié le comportement de diverses espèces sur différents types de sols. Les essais ont été conduits dans deux sites dont l'un à Ngan (15 km de Kaolack) et l'autre à Fatick (fig. 8).

Les espèces utilisées figurent sur le tableau 19. La mise en place des essais a été faite en trois périodes août 1985 (Ngan et Fatick), 1987 et 1988 (Ngan), à l'aide d'un dispositif de blocs complets randomisés. Chaque

bloc comprend de petits placeaux monospécifiques de 9 ou 25 arbres dont le nombre varie avec celui des espèces. Au total 23 espèces ont été testées dans 7 parcelles sur sols sulfatés acides salés évolués et sols salés sulfatés alcalins, choisies en fonction du niveau de salinité et de la texture du sol. Seuls les résultats des essais de 1985 sont présentés ici.

10.3 Caractéristiques des sites d'essais

10.3.1 Les essais de Ngan

Les essais ont été menés en Août 1985 dans 4 parcelles choisies en fonction de la salinité et de la texture du sol (tab. 19). Ce site de

Tableau 19: pH et C.E_s (mS/cm) des sols des blocs des essais.

Blocs	Par- celles	pH			C.E _s (mS/cm)		
		0-50	50-100	100-150	0-50	50-100	100-150
Bloc 1	PI	4,8	4,4	3,8	0,80	1,10	1,85
Bloc 2	PI	4,2	4,3	2,9	0,72	1,16	2,79
Bloc 3	PI	4,6	4,2	2,9	0,7	1,1	3,7
Bloc 4	PII	4,0	4,7	4,8	0,34	0,75	0,89
Bloc 5	PII	5,1	5,1	4,5	0,13	0,36	0,84
Bloc 6	PIII	5,3	5,0	6,5	4,3	3,1	2,70
Bloc 7	PIII	4,5	4,6	5,0	2,7	1,92	2,03
Bloc 8	PIII	4,6	5,6	4,4	3,1	2,2	2,04
Bloc 9	PIV	4,4	4,0	3,8	5,5	2,53	2,09
Bloc 10	PIV	4,3	4,2	4,1	3,66	2,46	2,02
Bloc 11	PV	7,6	8,2	7,4	0,11	0,57	1,41
Bloc 12	PV	8,0	8,4	4,3	0,48	0,88	2,96
Bloc 13	PV	7,7	8,7	6,8	4,05	3,7	2,72

Ngan est à 15 km de Kaolack. Il reçoit des précipitations de l'ordre de 450-600 mm/an.

Les parcelles sont situées dans des tannes sur le glacis inférieur de raccordement et sur des terrasses moyennes à végétation herbacée à localement arbustive. Les sols sont sulfatés acides salés à jarosite évoluée.

10.3.1.1 Parcelle 1 (P.I)

Caractérisée par un sol sulfaté acide hydromorphe salé sur micro-dunes sableuses à matériaux complexes sables/argiles limoneuses (An. II, p. 221). Les espèces ont été introduites dans trois blocs (bloc 1-3) (tab. 19) dans des placeaux de 9 arbres par espèce différents.

Les C.E_s des sols représentent les moyennes des maxima obtenus dans l'année au mois de juin. Les pH sont peu différents entre les blocs. Les nappes phréatiques (ER.T9 et 10, tab. 7) varient avec le temps entre 70 et 240 cm dans le bloc 1 et entre 70 et 250 m dans les blocs 2 et 3. Leur pH et C.E_n sont compris, respectivement, entre 6,0 et 8,0, et 52 et 90 mS/cm dans le bloc 1 et entre 3,2 et 8,0, 30 et 80 mS/cm dans les blocs 2 et 3. Ces variations saisonnières de la C.E_s, C.E_n et du pH sont illustrées par les figures 36 et 37.

10.3.1.2 Parcelle 2 (P.II)

Elle est caractérisée par un sol sulfaté acide hydromorphe salé argilo-sableux (An. II, ER.P3, p. 241). C'est un tanne à végétation dense composée essentiellement de *Borreria verticillata*, avec quelques pieds om-d'*Acacia seyal* et des *Heleocharis mutata*. Elle est totalement inondée pendant la saison des pluies.

Dans les deux blocs le sol est peu salé jusqu'à 150 cm. Les blocs présentent des nappes phréatiques (ER.T11, tab. 7) dont le niveau varie saisonnièrement entre 80 et 200 cm. Le pH et la C.E_n varient, respectivement entre 7,2 et 8, et entre 30 et 50 mS/cm (fig. 37).

10.2.1.3 Parcelle 3 (PIII)

Elle est caractérisée par un sol sablo-limoneux sulfaté acide à jaro-site évoluée salé (An. II, ER.P4, p. 236). C'est un tanne localement couvert de végétation herbacée de *Borreria verticillata*, *Phyloxerus vermicularis*, *Ctenium elegans* et quelques pieds de *Combretum glutinosum*. Trois blocs (bloc 6-8) dont les caractéristiques figurent sur le tableau 19 ont été choisis.

Les résultats révèlent une forte C.E_s et des pH peu acides à neutres en profondeur dans les blocs 6 et 7. Les variations saisonnières de la C.E_s, du pH et de la nappe (ER.T11) sont illustrées par les figures 36 et 37. Le pH, la C.E_n et la profondeur des nappes (tab. 7) sont, respectivement 6,7 à 7,7, 36 à 70 mS/cm et 90 à 250 cm. La C.E_s atteint dans certains endroits 10 mS/cm en surface à la fin de la saison sèche (juin).

10.3.1.4 Parcelle 4 (PIV)

Elle est caractérisée par un sol sulfaté acide à taches rhodiques, moyennement salé à sursalé sur matériaux argilo-sableux (An. II, ER.P5, p. 235). Elle est inondée pendant la saison des pluies. Le sol est nu à localement couvert de *Phyloxerus vermicularis*. Deux blocs (bloc 9-10) ont été utilisés (tab. 19).

Les variations de la C.E_s, du pH et de la nappe (ER.T12) sont illustrées par les figures 36 et 37. La profondeur de la nappe varie entre 70 et 200 cm, le pH entre 6,9 et 7,5 et la C.E_n entre 30 et 50 mS/cm. La C.E_s est de 10 à 20 mS/cm en surface, dans certains endroits pendant la saison sèche.

10.3.2 Les essais de Fatick

La parcelle est située à environ 4 km au nord-est de la ville de Fatick (fig. 8). Le site est une terrasse moyenne caractérisée par une végétation herbacée à localement arbustive et par des sols sableux salés sulfatés alcalins (An. II, APB.1 à 3). Ce site est relativement moins arrosé, avec des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 400 à 500 mm.

La végétation est composée essentiellement de *Borreria verticillata* plus

ou moins dense, *Ctenium elegans*, *Andropogon gayanus* et *pseudopicus*, *Com-bretum glutinosum* et *Balanites aegyptiaca*. Les profils des sols des par-celles sont décrits dans l'annexe II. Trois blocs (tab. 19) ont été uti-lisés dans cette parcelle et plantés avec 14 espèces (tab. 20).

La C.E_s et le pH sont très variables dans cette parcelle. C'est le bloc 13 qui paraît nettement le plus salé. Les nappes phréatiques varient entre 50 et 170 cm de profondeur. Leur C.E_n et pH varient respectivement entre 66 et 80,8 mS/cm et 5,8 à 6,4 dans le bloc 11, entre 108 et 111 mS/cm et 5,1 et 6,5 dans le bloc 12, et entre 77 et 119 mS/cm et 5,3 à 6,5 dans le bloc 13.

Compte tenu de la grande variabilité de la salinité à l'intérieur des parcelles, nous avons considéré dans l'interprétation des résultats des essais les différents blocs comme des sous-parcelles indépendantes l'une de l'autre. Ce qui nous permettra de mieux mettre en évidence la relation entre la salinité et le pH du milieu et le comportement des essences.

10.4 Les essences utilisées

Le tableau 20 donne les essences utilisées dans les différents blocs. Dans le site de Ngan chaque bloc comprend 12 placeaux de 9 arbres par espèce. Par contre à Fatick chaque bloc comporte 14 placeaux de 25 arbres par espèces. Dans les deux cas la plantation a été réalisée par la méthode des grands potets* à des écartements de 3 x 3 m. Cette méthode favorise l'infiltration des eaux de pluies au niveau des plants qui se trouvent ainsi dans un environnement chimique moins hostile.

10.5 Résultats et discussions

Les résultats ont révélé comme précédemment une action différentielle de la salinité et de l'acidité du milieu sur le comportement des essences. Les deux facteurs ont affecté à des degrés variables le taux de survie et la croissance des différentes espèces.

* Potet = trou cubique de 60 x 60 x 60 cm servant à la plantation.

Tableau 20: Espèces utilisées dans les différentes parcelles de Ngan (PI à PIV) et de Fatick (PV).

ESPECES	Parcelles				
	PI (B1, B2, B3)	PII (B4, B5)	PIII (B6 B7, B8)	PIV (B9, B10)	PV (B11, B12, B13)
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> (8298/FTB) ¹⁾	+	+	+	+	+
<i>Eucalyptus microtheca</i> (83/926) ²⁾				+	+
<i>Melaleuca leucadendron</i>	+	+	+	+	+
<i>Melaleuca quinquinervia</i>	+	+	+	+	+
<i>Melaleuca viridiflora</i> (83/930)	+	+	+	+	+
<i>Melaleuca acacioides</i> (14146/CSIRO) ³⁾	+	+	+	+	
<i>Melaleuca laciendra</i> (14124/CSIRO)				+	
<i>Casuarina equisetifolia</i> (86/1398)	+	+	+	+	+
<i>Casuarina glauca</i> (84/1151)	+	+	+	+	
<i>Prosopis juliflora</i> (85/1275)	+	+	+	+	+
<i>Prosopis chilensis</i> (1333)					+
<i>Albizia lebbek</i>	+	+	+	+	+
<i>Acacia seyal</i> (86/1495)	+	+	+	+	+
<i>Parkinsonia aculeata</i> (86/1538)	+	+	+	+	+
<i>Tamarix senegalensis</i>	+	+	+	+	+
<i>Combretum glutinosum</i>					+
<i>Balanites aegyptiaca</i>					+

1): FTB: Forestry Timber Bureau (Canberra, Australie)

2): Numéro de ISRA/DRPF

3): CSIRO, Canberra (Australie)

10.5.1 Comportement des espèces sur sols sulfatés acides salés: Essais de Ngan 1985

10.5.1.1 Comportement phénologique

L'influence de la salinité et de l'acidité s'est traduite au niveau du comportement phénologique par l'apparition des mêmes signes particuliers constatés dans l'étude expérimentale et dont les plus fréquents et significatifs, traduisant une certaine sensibilité des espèces, sont la brûlure et le dessèchement du bourgeon terminal et des jeunes feuilles, ou l'apparition de taches rougeâtres, oranges et brunes sur les deux faces des feuilles adultes. Ces signes ont été surtout observés dans les blocs B1, B3, B6 à B9 et B15 chez *Eucalyptus camaldulensis* et dans B6 à B9 et B15 chez *Melaleuca quinquinervia*. Les mêmes signes ont été observés par Kretinin et al. (1984) sur diverses espèces utilisées sur sols salés et alcalins en URSS. L'apparition de taches brunes et rougeâtres annonce très souvent une mortalité.

Pour connaître les modifications éventuelles entraînées par l'influence de la salinité nous avons mesuré la largeur et la longueur des feuilles prélevées des arbres de quelques blocs. Dix feuilles ont été prélevées par arbre à raison de 3 arbres par bloc. Le tableau 21 donne les résultats obtenus sur les feuilles de quelques espèces.

Tableau 21: Longueur et largeur moyennes (cm) de feuilles adultes (2 ans) de quelques essences en fonction de la salinité.

ESPECES	Bloc 2				Bloc 9			
	Longueur (cm)		Largeur (cm)		Longueur (cm)		Largeur (cm)	
	X ₁	σ ₁	X ₂	σ ₂	X ₃	σ ₃	X ₄	σ ₄
Casuarina equisetifolia	15,7	3,7	0,1	0,0	9,7	1,87	0,1	0,0
Melaleuca quinquinervia	5,5	0,88	1,23	0,23	3,9	0,75	1,2	0,28
Melaleuca acacioides	5,0	0,66	0,75	0,19	5,6	2,13	0,7	0,15

$\bar{X}$ = moyenne σ = écart-type

Ces résultats montrent de manière générale une influence plus nette de la salinité sur la longueur de la feuille. Elle est plus marquée chez *Casuarina equisetifolia* dont la longueur moyenne passe de 15,7 cm dans B2 à 9,7 cm dans B9, avec une réduction de 6 cm soit 38%. Chez *Melaleuca quinquinervia* la longueur passe de 5,5 cm dans B2 à 3,9 cm dans B9 avec une diminution de 1,6 cm, soit 29%. La largeur reste très peu variable. Cependant chez *Melaleuca acacioides* on constate un phénomène inverse. La longueur augmente dans B9 où elle est égale à 5,6 cm contre 5,0 dans B2, alors que la largeur reste la même. La longueur est plus uniforme chez *Melaleuca quinquinervia* dans les deux blocs, alors que la largeur est très variable, avec des écart-types de 0,23 dans B2 et 0,28 dans B9.

On peut dire que la salinité et l'acidité n'affectent de manière significative que la couleur et la longueur des feuilles des arbres. La couleur orange apparaît chez toutes les espèces mêmes les plus résistantes lorsque la salinité devient très élevée. Sa persistance, sans changement vers les couleurs brunes ou rougeâtres peut être interprétée comme un signe de résistance de l'espèce à la salinité.

10.5.1.2 Evolution du taux de survie

Dans la plupart des cas où l'on a observé l'apparition de taches sur les feuilles et le dessèchement des bourgeons terminaux des arbres, l'influence de la salinité et de l'acidité a conduit à la mortalité. Celle-ci dépend entre-autres facteurs de la résistance spécifique de chaque espèce et des caractéristiques du sol.

Afin de mesurer la résistance aux facteurs du milieu nous avons évalué le taux de survie des espèces dans les différents blocs à différents âges.

Les résultats révèlent une variabilité du taux de survie en fonction de la salinité et de l'acidité avec l'âge et entre les espèces.

L'analyse de variance montre une différence très significative au seuil de 95% du taux de survie avec le temps et entre les espèces. Le classement des espèces à l'aide des tests de Fisher et de Duncan (An. IV) en fonction de leur taux de survie moyen, se fait dans l'ordre suivant:

	<i>Melaleuca acacioides</i>
	<i>Melaleuca viridiflora</i>
	<i>Melaleuca leucadendron</i>
	<i>Parkinsonia aculeata</i>
	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>
	<i>Casuarina equisetifolia</i>
	<i>Tamarix senegalensis</i>
	<i>Prosopis juliflora</i>
	<i>Acacia seyal</i>
	<i>Melaleuca quinquinervia</i>
	<i>Casuarina equisetifolia</i>
	<i>Albizia lebbek</i>

Les classements à différents âges (An. IV) révèlent la stabilité de certaines espèces dont les taux de survie restent toujours soit plus élevés, soit plus faibles que la moyenne générale. Cependant la plupart des espèces sont très fluctuantes, avec des taux entraînant tantôt un bon, tantôt un mauvais classement (tab. 10.1 à 10.5, An. IV).

Le classement ci-dessus met en évidence trois groupes qui se distinguent par la sensibilité des espèces aux facteurs du milieu. Le tableau 22 donne les taux de survie moyen à l'âge de 39 mois. Les espèces encadrées par une même ligne (verticale) ne sont pas statistiquement différentes. Compte tenu du fait que le pH est peu différent d'un bloc à l'autre, c'est donc la salinité qui influence plus la croissance des arbres.

1. Espèces très résistantes

Ces espèces sont caractérisées par une forte résistance révélée par de meilleurs taux de survie qui restent supérieurs à ceux des autres quel que soit le bloc ou l'âge. Elles se composent de *Melaleuca acacioides*, *Melaleuca viridiflora* et *Melaleuca leucadendron*. Le taux de survie moyen diminue avec l'âge dans tous les blocs.

Melaleuca acacioides se révèle l'espèce la plus résistante avec un taux de survie égal à 100% dans tous les blocs jusqu'à l'âge de 39 mois.

Melaleuca viridiflora se révèle la deuxième espèce, avec un taux de survie variant avec l'âge entre 100 et 78% (fig. 51). La moyenne des blocs varie entre 99% à 3 mois et 96% après 39 mois, avec un écarttype respectivement de 3,5 et 5,7. Au sein d'un même bloc le taux de survie varie très peu avec l'âge. C'est dans les blocs B6 à B9 que l'on constate la plus forte diminution du taux de survie, avec 89% après 39 mois. Dans les

Tableau 22: Taux de survie moyen (%) des espèces à l'âge de 39 mois sur sols sulfatés acides salés (Ngan).

ESPECES	BLOCS										Moyenne	E. type
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10		
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	78	100	100	100	100	44	56	22	0	44	64	36,6
<i>Melaleuca leudendron</i>	78	100	100	78	78	78	78	78	78	78	79	15,2
<i>Melaleuca quinquervia</i>	78	89	100	78	67	0	56	0	0	44	51	38,6
<i>Melaleuca viridiflora</i>	100	100	100	100	100	89	89	89	89	100	96	5,7
<i>Melaleuca acacioides</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0,0
<i>Casuarina equisetifolia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
<i>Casuarina glauca</i>	67	78	33	22	56	33	78	33	89	78	57	24,3
<i>Prosopis juliflora</i>	0	0	0	0	44	33	89	67	44	78	36	34,7
<i>Albizia lebbek</i>	11	22	0	11	44	0	0	0	11	11	11	13,8
<i>Acacia seyal</i>	0	0	44	100	78	56	67	11	11	56	42	35,1
<i>Parkinsonia aculeata</i>	78	0	11	67	44	33	56	89	89	67	53	30,9
<i>Tamarix senegalensis</i>	11	11	0	22	89	56	100	67	33	100	49	38,6
Moyenne	53	56	54	62	75	43	64	50	48	71	53	
Ecart-type	40,3	44,7	44,4	38,6	21,8	30,3	31,5	36,3	38,9	27,8	29 6	

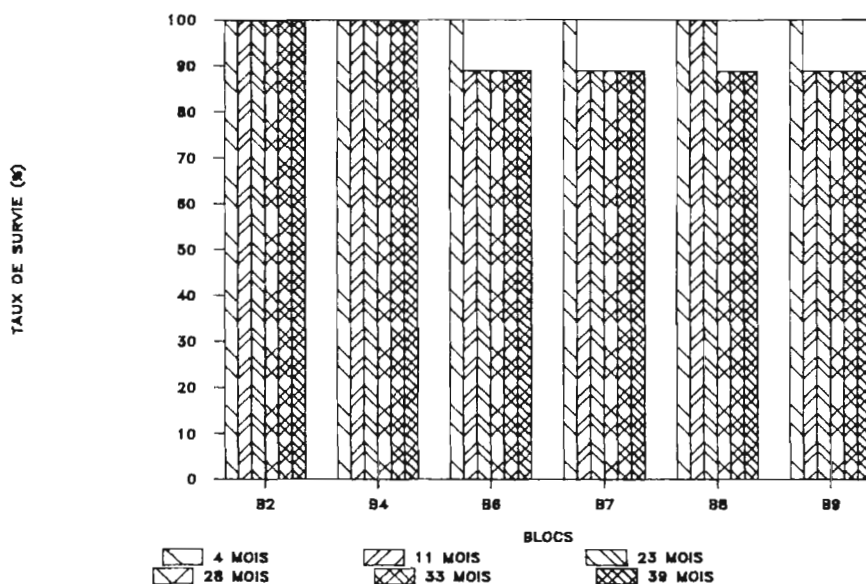


Figure 51: Variation du taux de survie (%) en fonction des blocs et du temps chez les espèces très résistantes (*Melaleuca viridiflora*).

autres cas le taux de survie reste égal à 100% quel que soit l'âge.

Melaleuca leucadendron constitue la limite inférieure des espèces de ce groupe. Son taux de survie varie avec l'âge, entre 100 et 78% avec une moyenne des blocs passant de 98% après 4 mois à 79% à l'âge de 39 mois, pour un écart-type respectif de 7 et 15,2 (tab. 10.1 à 10.5). Cette espèce s'est révélée sensible à la salinité à partir de 23 mois où son taux de survie est tombé à 78% dans les blocs B4 à B9 tout en restant constant jusqu'à 39 mois (fig. 51).

Les faibles écart-types révélés par les variations du taux moyen de survie montrent la relative stabilité de ces espèces.

2. Espèces résistantes

Elles se caractérisent par des taux de survie supérieurs à la moyenne générale des blocs, mais inférieurs à ceux des espèces du groupe précédent. Elles comprennent *Eucalyptus camaldulensis* et *Casuarina glauca*.

A partir de 4 mois jusqu'à l'âge de 28 mois ces espèces représentent les conditions moyennes des blocs (tab. 10.1 à 10.5). C'est à partir de 33 mois que leur taux de survie devient supérieur à la moyenne générale.

Eucalyptus camaldulensis se révèle sensible à partir de 11 mois dans les blocs B6 à B10 où son taux de survie varie entre 44 et 67% et qui n'a cessé de se dégrader continuellement (fig. 52). A 39 mois cette espèce a disparu du bloc B9 et fortement diminué dans B8 où son taux n'est plus que de 22%. Le taux de survie est resté compris entre 78 et 100% dans les blocs B1 à B5.

Quant à *Casuarina glauca*, elle manifeste une bonne résistance pendant les 4 premiers mois avec un taux de survie de 100%. Mais au bout de 11 mois elle révèle une certaine sensibilité qui s'accroît avec l'âge, avec des taux passant de 100 à 22% dans les blocs B3 à B8 (fig. 52). C'est surtout dans les blocs B4 et B6 qu'elle enregistre le plus faible taux de survie. A 39 mois sa présence ne présente de l'intérêt que dans les blocs B2, B7, B9 et B10 où son taux varie entre 78 et 89%.

3. Espèces sensibles

Ces espèces se caractérisent par leur sensibilité marquée à l'augmentation du niveau de salinité qui se traduit par une forte mortalité. Leurs taux de survie sont restés inférieurs à la moyenne générale durant toute la période de croissance. Elles manifestent des comportements très différents avec l'âge comme le révèlent les classements et les écart-types (tab. 10.1 à 10.5). Elles sont constituées par *Parkinsonia aculeata*, *Melaleuca quinquinervia*, *Tamarix senegalensis*, *Acacia seyal*, *Prosopis juliflora*, *Albizia lebbek* et *Casuarina equisetifolia*.

Casuarina equisetifolia constitue l'espèce la plus inadaptée accusant un taux de mortalité de 100% dans tous les blocs après 39 mois.

Les autres espèces montrent un comportement très variable selon les blocs comme le révèle la figure 53. *Prosopis juliflora* a totalement disparu des blocs B1 à B3. Sa présence n'est significative que dans B7, B8 et B10. Quant à *Albizia lebbek*, son comportement est similaire à celui de *Casuarina equisetifolia* car à l'exception de B5 où son taux est de 44%, il accuse une très forte mortalité dans tous les autres blocs. *Tamarix senegalensis*, se montre intéressante dans B5, B8, B10 où son taux de survie

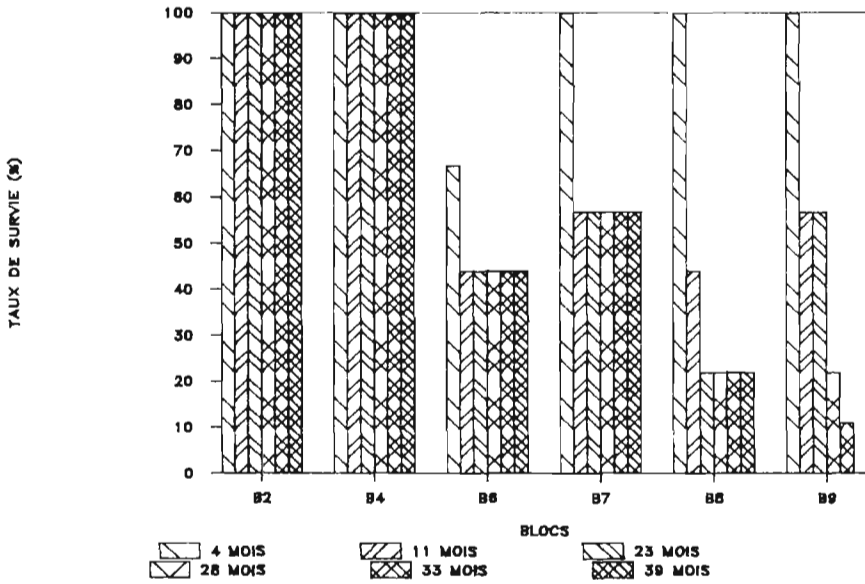


Figure 52: Evolution du taux de survie (%) en fonction des blocs et du temps chez les espèces résistantes (*Eucalyptus camaldulensis*).

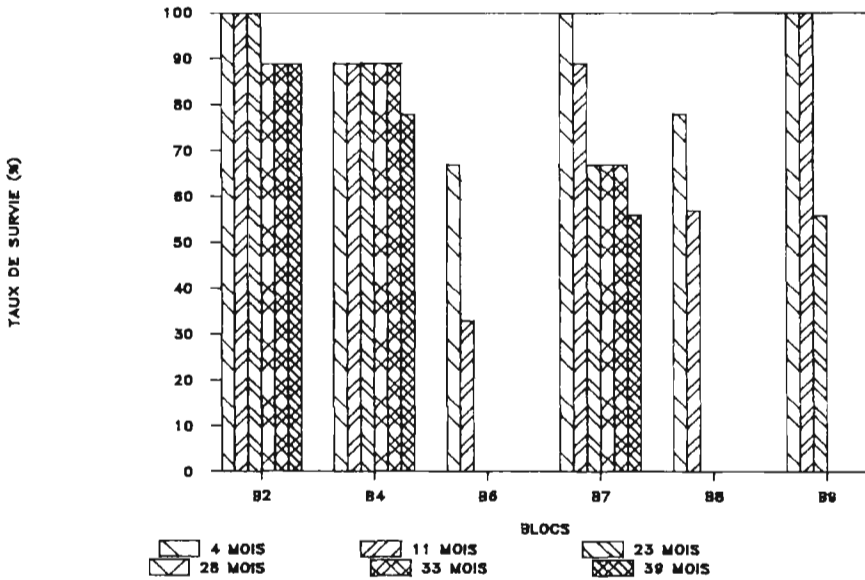


Figure 53: Evolution du taux de survie (%) en fonction des blocs et du temps chez les espèces sensibles+ (*Melaleuca quinquinervia*).

vie est compris entre 88 et 100%. *Acacia seyal* n'est intéressant que dans B4, B5 et B7 avec un taux de survie compris entre 67 et 100%.

Le comportement manifesté par les différentes espèces au cours du temps concordent avec les résultats obtenus par Churchill (1981) en Australie sur *Casuarina* spp. et Conde et al. (1981) sur *Melaleuca* spp. en Floride.

10.5.1.3 Evolution de la croissance

La croissance des espèces a été étudiée à l'aide de mesures de la hauteur et de la circonférence des arbres à différentes périodes. La circonférence n'a été mesurée que chez les espèces monocoques à partir de la deuxième année de croissance.

Grâce à ces mesures nous avons pu suivre la croissance des arbres en fonction des blocs chez quelques espèces.

Les résultats du tableau 23 donnent la hauteur moyenne des arbres après 39 mois de croissance. Ils montrent une grande variabilité entre les espèces et entre les blocs. Celle-ci semble plus importante chez les espèces sensibles que chez les autres.

La comparaison entre espèces révèle la supériorité de *Eucalyptus camaldulensis* par rapport aux autres dans tous les blocs où les conditions sont favorables à son maintien. La performance de la croissance de cette espèce a été mise en évidence par de nombreuses études antérieures menées dans la région (Sadio, 1984; Niang, 1985).

Elle est suivie par *Melaleuca viridiflora* et *Melaleuca quinquinervia* dont la hauteur moyenne est sensiblement identique. *Melaleuca leucadendron* occupe la quatrième place et *Melaleuca acacioides* la cinquième. Le mauvais classement de cette dernière s'explique par sa tendance buissonnante.

On constate une diminution de la croissance chez toutes les espèces lorsque la salinité augmente (fig. 54). Mais celle-ci semble dépendre de la sensibilité de l'espèce, (Keretinin et al., 1984; Tomar et al., 1985) comme le révèlent les différences entre *Melaleuca leucadendron*, *Melaleuca quinquinervia* et *Melaleuca viridiflora*.

Leurs hauteurs moyennes ne deviennent différentes que dans les blocs B5 à B10. Au fur et à mesure que les arbres grandissent l'effet de ces deux facteurs devient plus net.

Tableau 23: Hauteur moyenne (cm) des arbres après 39 mois de croissance.

ESPECES	BLOCS										Moyenne	E. type
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10		
<i>Melaleuca acacioides</i>	222	167	195	181	198	121	110	116	122	143	157,5	40,4
<i>Melaleuca viridiflora</i>	331	300	347	238	317	267	186	260	194	195	263,5	59,60
<i>Melaleuca leucadendron</i>	317	345	331	216	256	186	110	185	181	147	227,4	81,3
<i>Melaleuca quinquinervia</i>	375	354	308	261	252	-	185	-	185	284	275,5	70,0
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	336	491	317	350	460	-	338	-	-	-	382	73,9
Moyenne	316	331,4	299,6	249,2	296,6	191,3	185,8	187,0	170,5	192,3	242	
Ecart-type	56,9	116,4	60,3	63,6	100,6	-	93,1	-	32,8	65,6	63,4	

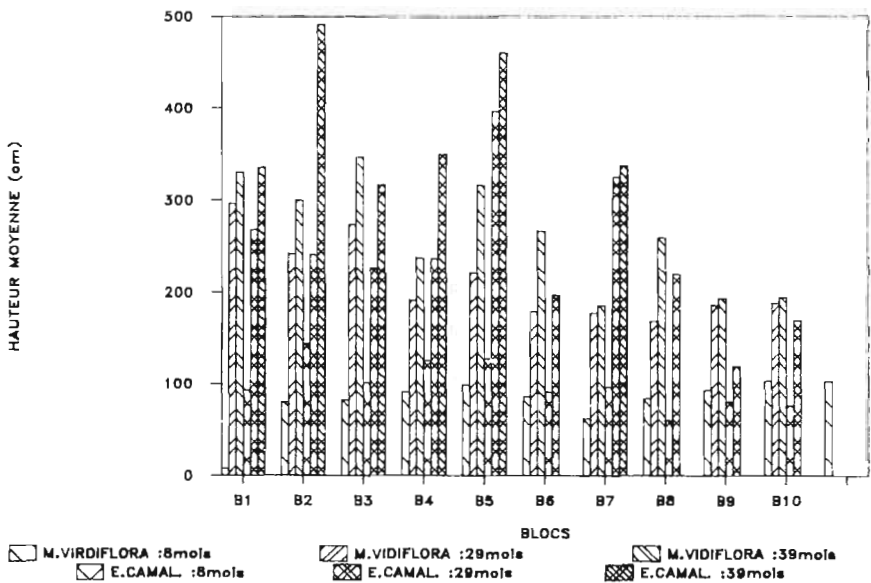


Figure 54: Evolution de la hauteur moyenne (cm) en fonction des blocs et du temps chez quelques espèces très résistantes et espèces résistantes.

10.5.2.1 Sur sols salés sulfatés alcalins: Essais de Fatick (1985)

Les taux de survie obtenus dans les différents blocs révèlent une variabilité des espèces avec l'âge en fonction de la salinité.

L'analyse de la variance effectuée au seuil de 95% montre des différences très significatives du taux de survie entre les blocs et entre les espèces avec le temps (An. IV).

Le classement des espèces à l'âge de 40 mois, en fonction du taux de survie, à l'aide des tests de Fisher et de Duncan se fait dans l'ordre suivant:

	<i>Prosopis juliflora</i>
	<i>Prosopis chilensis</i>
	<i>Acacia seyal</i>
	<i>Melaleuca viridiflora</i>
	<i>Tamarix senegalensis</i>
	<i>Balanites aegyptiaca</i>
	<i>Melaleuca leucadendron</i>
	<i>Eucalyptus microtheca</i>
	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>
	<i>Parkinsonia aculeata</i>
	<i>Casuarina equisetifolia</i>
	<i>Combretum glutinosum</i>
	<i>Melaleuca quinquinervia</i>
	<i>Albizia lebbek</i>

Les classements effectués aux différents âges (tab. 10.6 à 10.10, An. IV) montrent des comportements différents des espèces dont certaines occupent une place fixe alors que d'autres sont continuellement déclassés avec l'âge.

Les taux de survie ne révèlent aucune différence significative entre les espèces à l'intérieur d'un bloc et entre les blocs jusqu'à l'âge de 8 mois. Ils sont compris entre 92 et 100% chez toutes les espèces à l'exception de *Albizia lebbek* qui accuse une mortalité avec un taux de survie de 88% à 4 mois et 84% après 8 mois.

A partir de 14 mois les différences révélées par les espèces deviennent plus nettes entre les blocs. Le tableau 24 donne les taux de survie moyens à l'âge de 40 mois.

On distingue trois groupes d'espèces: très résistantes, résistantes et sensibles.

Tableau 24: Taux de survie moyen (%) des espèces à l'âge de 40 mois sur sols salés sulfatés alcalins.

ESPECES	Bloc 11	Bloc 12	Bloc 13	Moyenne
<i>Prosopis juliflora</i>	100	100	100	100
<i>Prosopis chilensis</i>	100	96	96	97,3
<i>Melaleuca leucadendron</i>	92	88	40	73
<i>Melaleuca viridiflora</i>	100	92	80	90,1
<i>Melaleuca quinquinervia</i>	72	60	28	53,3
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	100	76	28	68,0
<i>Eucalyptus microtheca</i>	100	88	48	78,7
<i>Casuarina equisetifolia</i>	80	68	48	65,3
<i>Acacia seyal</i>	96	92	80	89,3
<i>Balanites aegyptiaca</i>	96	96	44	78,7
<i>Parkinsonia aculeata</i>	80	68	44	64,0
<i>Albizia lebbek</i>	60	36	24	40,0
<i>Combretum glutinosum</i>	88	40	28	52,0
<i>Tamarix senegalensis</i>	100	96	80	92,0
Moyenne	90,3	78,3	54,9	74,4
Ecart-type	12,7	21,1	26,7	18,3

1. Espèces très résistantes

Elles se caractérisent par leur taux de survie qui restent nettement supérieurs à la moyenne générale quel que soit l'âge du bloc considéré.

Parmi ces espèces on retrouve *Prosopis juliflora* et *Prosopis chilensis* dont les taux sont restés compris entre 96 et 100%. Elles ne révèlent aucune différence significative entre les blocs. On retrouve aussi *Melaleuca viridiflora*, *Acacia seyal* et *Tamarix senegalensis*, avec des taux de

survie moyens variant entre 96 et 80% à l'âge de 40 mois. Leurs taux de survie sont restés supérieurs à 90% jusqu'à l'âge de 30 mois (fig. 55). Les faibles taux ont été enregistrés dans le bloc B13, avec 80% à l'âge de 40 mois pour chacune de ces espèces.

2. Espèces résistantes

Ces espèces représentent les conditions moyennes des blocs avec des taux de survie égaux ou légèrement supérieurs à la moyenne générale des blocs. Elles comprennent *Balanites aegyptiaca*, *Eucalyptus microtheca* et *Melaleuca leucadendron*. Les deux premières paraissent plus résistantes que la dernière avec des taux qui sont restés supérieurs à la moyenne jusqu'à l'âge de 37 mois. Le taux de survie varie de l'âge de 4 à 40 mois entre 100 et 44% chez *Balanites aegyptiaca*, 100 et 48% chez *Eucalyptus microtheca* et 100 et 40% chez *Melaleuca leucadendron* (fig. 56).

Toutes ces espèces paraissent stables sur les blocs B11 et B12, alors que dans le bloc B13 elles se révèlent très sensibles avec l'âge, avec des taux de survie chutant à 44% chez *Balanites aegyptiaca*, 40% chez *Melaleuca leucadendron* et 48% chez *Eucalyptus microtheca*.

3. Espèces sensibles

Ce sont les espèces dont le taux de survie à l'âge de 40 mois est nettement inférieur à la moyenne générale (tab. 24). Parmi ces espèces on retrouve *Eucalyptus camaldulensis*, *Casuarina equisetifolia*, *Parkinsonia aculeata*, *Melaleuca quinquinervia*, *Combretum glutinosum* et *Albizia lebbek*.

Comme pour les essais de Ngan, on constate un comportement très fluctuant avec l'âge chez certaines espèces telles que *Eucalyptus camaldulensis* et *Parkinsonia aculeata*. Jusqu'à 37 mois leur taux de survie est resté plus ou moins égal à la moyenne générale. C'est à partir de cet âge qu'elles se sont distinguées des conditions moyennes de la parcelle à cause de l'importante mortalité intervenue au niveau du bloc B13. A l'âge de 40 mois le taux de survie dans ce bloc n'est plus que de 28% contre 76 et 100% dans B12 et B11 chez *Eucalyptus camaldulensis* et de 44% contre 68 et 80% respectivement chez *Parkinsonia aculeata*.

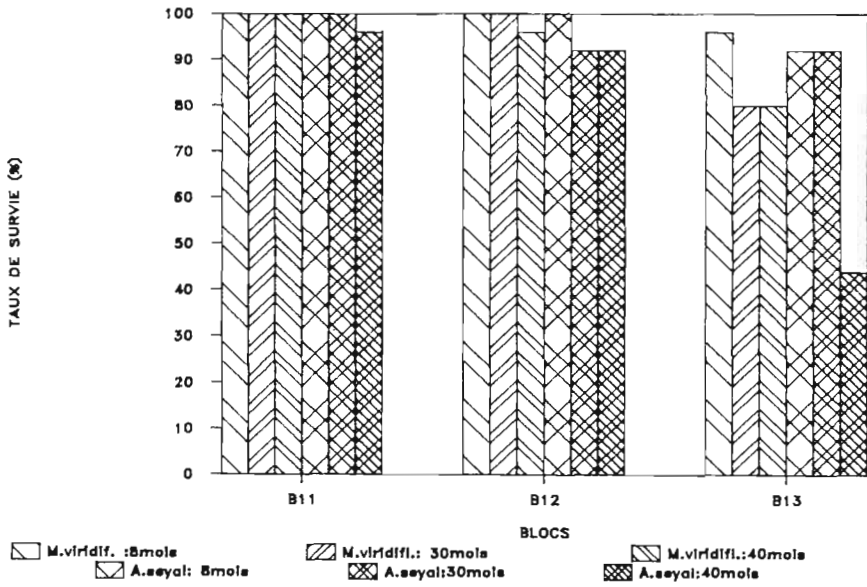


Figure 55: Evolution du taux de survie en fonction des blocs et du temps chez quelques espèces très résistantes.

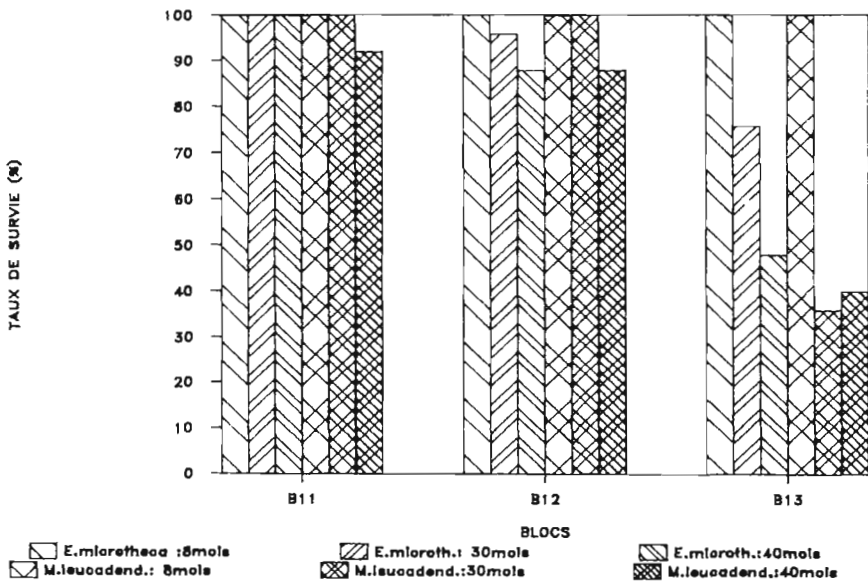


Figure 56: Evolution du taux de survie en fonction des blocs et du temps chez quelques espèces résistantes.

Les autres espèces ont presque totalement disparu du bloc B13 après 40 mois de survie avec des taux inférieurs à 28%. *Albizia lebbek* paraît l'espèce la plus sensible avec des taux de survie moyens les plus faibles dans tous les blocs (24 à 60%).

10.5.2.2 Evolution de la croissance en hauteur et circonférence

Les mesures de la hauteur et de la circonférence ont été aussi réalisées à différentes périodes. Le tableau 25 donne les résultats des espèces les plus intéressantes après 40 mois de croissance.

Tableau 25: Hauteur et circonférence moyennes (cm) de quelques espèces à l'âge de 40 mois sur sols salés sulfatés alcalins.

Especies	Hauteur (cm)				Circonférence (cm)			
	B11	B12	B13	Moyenne	B11	B12	B13	Moyenne
<i>Prosopis juliflora</i>	538	416	405	453	9,8	8,9	8,3	9
<i>Prosopis chilensis</i>	421	352	344	372,3	11,9	7,6	6,4	8,6
<i>Melaleuca viridiflora</i>	337	256	221	271,3	6,7	4,7	3,7	5
<i>Melaleuca leucadendron</i>	384	339	189	304	7,2	5,7	3,2	5,4
<i>Melaleuca quinquinervia</i>	308	309	224	280,3	7,9	6,4	5,8	6,7
<i>Eucalyptus microtheca</i>	257	247	147	217	5,9	4,8	3,3	4,7
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	537	428	346	437	10,6	8,5	7,1	8,7
<i>Casuarina equisetifolia</i>	450	430	408	429,3	7,8	6,3	6,2	6,3
<i>Acacia seyal</i>	313	258	204	258,3	7,9	4,6	2,3	4,9
<i>Albizia lebbek</i>	328	307	264,0	300	9,7	8,0	7,7	8,5
Moyenne	387,3	352,2	275,2	332,3	8,5	6,6	5,4	6,8
Ecart-type	97,2	95,2	93,6	84,0	1,9	1,6	2,1	1,8

Les résultats révèlent la performance de *Prosopis juliflora*, *Eucalyptus camaldulensis* et *Casuarina equisetifolia* dans tous les blocs. Leurs hau-

teurs dépassent largement celles des autres, avec une différence comprise entre 81 et 236 cm.

La croissance en circonférence est assez variable d'un bloc à l'autre, avec une différence de 0,7 à 3,3 cm.

Le comportement de *Casuarina equisetifolia*, malgré sa sensibilité au niveau de B13 ou son taux de survie n'est que de 48%, semble mettre en évidence que chez les espèces à croissance rapide la salinité affecte moins la hauteur que le taux de survie, comme l'ont constaté par ailleurs Kretinin et al. (1984) et Turnbull et al. (1981).

10.5.3 Conclusion

Les essais de reboisement ont donc permis de tester l'aptitude de ces essences à résister, en conditions naturelles de terrain, à l'interaction des contraintes du milieu, principalement l'acidité et la salinité (photos 9 to 11).

Le comportement des espèces en fonction des blocs au niveau des deux sites révèlent une sensibilité différente à la fois à la salinité et à l'acidité.

Certaines espèces telles que *Prosopis juliflora* et *Acacia seyal* semblent très sensibles à l'acidité qui se traduit par une forte mortalité dans le site de Ngan. En effet comme l'ont mis en évidence les recherches menées sur la végétation naturelle pour *Acacia seyal* et démontré par ailleurs par certains chercheurs (Yadav, 1981; Aswathappa et al., 1986; Thomson, 1986) ces deux espèces ne prospèrent que dans des sols à pH > 5,0.

Cependant d'autres espèces telles que *Melaleuca spp.* et *Eucalyptus microtheca* se montrent très résistantes à la fois à l'acidité et à l'alcalinité, comme l'ont mis en évidence de nombreuses études menées dans des conditions climatiques diverses (Conde et al., 1981; Woodall, 1981; Brinkman et al., 1986). La mortalité accusée par *Eucalyptus camaldulensis* dans les blocs B6, B9 et B13 s'explique essentiellement par sa sensibilité à la salinité.

Concernant *Albizia lebbek*, Bangash (1977) a observé au Pakistan la même sensibilité à la salinité.

Le mauvais comportement de *Casuarina equisetifolia* malgré sa forte résistance à la salinité révélée par l'étude expérimentale (Sadio, 1986b) et

par les travaux de certains auteurs (Roux, 1974 et Bangash, 1977) peut s'expliquer essentiellement par deux faits:

- une forte sensibilité à l'acidité, car elle ne prospère qu'à des pH supérieurs à 5,0 (Yadav, 1981; Tomar et al., 1985). L'acidité et la forte salinité semblent inhiber sa faculté de fixer l'azote atmosphérique qui lui permet de compenser le déficit en azote dans les sols pauvres, indispensable à sa bonne croissance (Reddell et al., 1986; Bowen et al., 1986). Ceci fait que malgré la texture sableuse dont elle s'accommode très bien (Yadav, 1981) elle donne de mauvais résultats.
- la continentalité jouerait un effet défavorable à son installation car elle se révèle comme une espèce essentiellement littorale (Yadav, 1981; Turnbull et al., 1981).

La bonne croissance en hauteur et en circonférence révélée par *Melaleuca spp.*, *Eucalyptus spp.* et *Prosopis spp.*, malgré la jeunesse des plantations (3 ans) offre de grandes possibilités de leur utilisation dans ces milieux pour la production de bois de feu. Les accroissements moyens compris entre 70 et 150 cm sur la hauteur et entre 1,3 et 3 cm sur la circonférence, conformes à ceux trouvés par certains auteurs tels que Conde et al. (1981), Tomar et al. (1985) et Yadav (1981), confirment la performance de ces espèces à prospérer même dans des conditions très difficiles.

Le tableau 26 donne les conditions d'utilisation des espèces aptes au reboisement des sols sulfatés acides salés et salés sulfatés alcalins.

Tableau 26: Seuils limites de tolérance à l'acidité et la salinité des essences forestières susceptibles de prospérer dans les sols sulfatés acides salés et salés sulfatés alcalins.

ESPECES	pH						C.E ₅ (mS/cm)				
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	2	3	4	5	6
<i>Prosopis juliflora</i>			_____				_____			-	
<i>Prosopis chilensis</i>			_____				_____			-	
<i>Melaleuca acacioides</i>	_____						_____				
<i>Melaleuca viridiflora</i>	_____						_____			- -	
<i>Melaleuca leucadendron</i>	_____						_____			- - -	
<i>Melaleuca quinquinervia</i>	_____					- - -	_____			- - -	
<i>Eucalyptus microtheca</i>	_____					- - - -	_____			- - -	
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	- -	_____				- - - -	_____			-	
<i>Acacia seyal</i>			- -	_____			_____			- -	
<i>Casuarina glauca</i>	-	_____				- -	_____			-	
<i>Casuarina equisetifolia</i>			- -	_____		- - -	_____				
<i>Parkinsonia aculeata</i>			- -	_____			_____			- -	
<i>Albizia lebbek</i>			-	_____			_____			- -	
<i>Combretum glutinosum</i>	- - -	_____				- -	_____			- -	
<i>Tamarix senegalensis</i>		-	_____				_____			- -	



Photo 9: *Eucalyptus camaldulensis* et *Melaleuca acacioides* (1er plan) âgés de 39 mois, sur sols sulfatés acides de Ngan.



Photo 10: *Melaleuca viridiflora* âgé de 39 mois, sur sols sulfatés acides salés de Ngan.

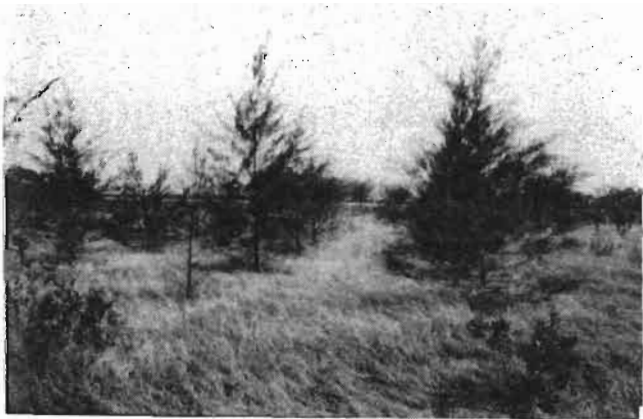


Photo 11: *Casuarina equisetifolia* âgé de 40 mois, sur sols salés sulfatés alcalins de Fatick.

CHAPITRE 11

APTITUDES ET AMENAGEMENT DES SOLS DE TANNES

11.1 Introduction

La salinité est apparue depuis les années 1940 comme une sérieuse contrainte de l'utilisation agricole des tannes du Sine Saloum (Massibot et al; 1946).

Depuis les années 1971, à cause de la sécheresse leur mise en valeur est compliquée davantage car elle se confronte à une triple problématique: la sursalure, l'hyperacidité des sols et le manque de ressources en eau douce suffisante.

Les premières tentatives de dessalement de ces tannes par des aménagements, en vue de leur récupération agricole entre les années 1939 et 1946 (Massibot et al., 1946) et entre 1960 et 1965 (Boufils et al., 1965) se sont soldées par des échecs, faute de techniques appropriées.

Dans la plupart des terrasses moyennes et basses à sols acides et sur-salés, la mise en valeur ne peut être envisagée qu'à moyen et long termes. Elle doit être basée sur la bonne connaissance du fonctionnement du milieu, l'évaluation des terres et les résultats de recherches.

Ce chapitre fait la synthèse des recherches menées sur la connaissance et les essais de reboisement des sols sulfatés acides salés et propose des schémas d'aménagement des tannes en vue de leur utilisation rationnelle agricole.

11.2 Aptitudes des sols

Grâce aux bonnes caractéristiques physiques des sols et la capacité de certaines espèces à donner des résultats satisfaisants, la mise en valeur agricole des tannes du Sine Saloum paraît possible.

Pour l'instant les seules possibilités d'utilisation de ces tannes sont, d'une part le reboisement avec des espèces tolérantes à l'acidité et la salinité et, d'autre part le pâturage. Mais la réussite du reboisement

dépend étroitement, d'une part du choix de l'espèce et des aptitudes du terrain à reboiser, et d'autre part des techniques utilisées pour l'amélioration des propriétés chimiques des sols.

Dans une étude réalisée dans le cadre du projet UNSO/SEN/83/X02 "Régénération des sols salins du Sine Saloum (Daffé et al., 1988) nous avons distingué 7 classes d'aptitudes agricoles des sols, définies en fonction de la texture, la salinité, l'acidité et des nappes. Ces critères restent les mêmes ici, car ce sont eux qui constituent les principales contraintes de la mise en valeur forestière de ces tannes.

11.2.1 Qualités des terres et critères de classement des terres

Les qualités des terres sont envisagées ici principalement sous l'angle d'une utilisation forestière et pastorale.

Les critères de classement des terres que nous décrivons ci-dessous sont basés sur les principaux paramètres physiques et chimiques des sols qui ont une grande signification sur la croissance des arbres et sur les aménagements nécessaires permettant d'améliorer la productivité agricole, tel conseillé par FAO (1976, 1984 et 1985).

11.2.1.1 Disponibilité en eau des sols

Sous climat aride, la mise en valeur forestière des terres se confronte à des problèmes de disponibilité en eau des sols. Les réserves hydriques dépendent, entre'autres facteurs de la texture et de la profondeur du sol.

La texture du sol paraît, à cet effet, un facteur clé déterminant l'aptitude des sols (FAO, 1976) dans la mesure où elle conditionne à la fois l'alimentation hydrique et le développement du système racinaire des arbres, la perméabilité des sols et la quantité d'eau stockée disponible.

Certaines essences forestières sont très sensibles aux déficits hydriques, alors que d'autres en souffrent très peu.

Les sols sableux, à cause de la texture grossière, sont sujets à des déficits hydriques dès la fin de la saison des pluies. Leurs faibles réserves hydriques offrent de maigres possibilités d'alimentation en eau aux arbres. Ils possèdent également une fertilité médiocre à cause de leur faible capacité d'échange cationique. La texture grossière réduit donc le

choix des espèces à cause de la sensibilité au déficit hydrique que manifeste la plupart des essences, surtout celles dites à "croissance rapide".

Les effets des déficits hydriques sur les arbres sont plus accentués en milieu salé à cause de la forte pression osmotique créée par les sels.

Par contre les sols à texture fine offrent suffisamment d'eau aux plantes mais connaissent pendant l'hivernage des engorgements qui entraînent une asphyxie racinaire. Seules des espèces adaptées aux conditions d'asphyxie peuvent y être utilisées. En outre leur faible porosité entraîne une faible infiltration de l'eau; ce qui rend difficile leur dessalement.

11.2.1.2 Salinité et fertilité du sol

La salinité constitue l'un des premiers facteurs qui déterminent la qualité des sols, auxquels la mise en valeur doit s'attaquer à cause de son extension et des dommages qu'elle occasionne aux plantes. Comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents, son niveau dans le sol détermine la croissance de la plupart des espèces en raison de son influence sur la fertilité et de la pression osmotique de la solution du sol. La fertilité qui est une qualité principale des terres, est nulle dans les conditions de sursalure, à cause de l'excès d'ions nocifs tels que Na^+ et Cl^- .

La présence de sels solubles en excès dans le sol réduit le choix des espèces à introduire à cause de l'absorption préférentielle par les plantes de ces ions nocifs et de la pression osmotique très élevée qu'ils entraînent (Van Hoorn, 1972). Les terres sont classées en fonction du niveau de salinité en relation avec la texture des sols.

Les classes restent les mêmes que celles définies en 4.2.3 (p. 36). La qualité des terres diminuent lorsque la salinité augmente.

11.2.1.3 Acidité et toxicité du sol

L'acidité constitue l'une des deux contraintes majeures de la mise en valeur agricole de ces sols. Son effet est néfaste et souvent fatal à la plupart des espèces forestières, à cause de la présence excessive d'éléments toxiques tels que Al^{3+} , Fe^{3+} , H_2S et H^+ (Ponamperuma et al., 1973; Thawornwong et al., 1974; Vo-Tong Xuan et al., 1982; Abrahamsen, 1983; Mayer, 1983; Ulrich, 1983a; Le Ngoc Sen, 1988; Mulder, 1988).

Les possibilités d'amélioration de la fertilité de ces sols restent très limitées compte tenu de leur état d'acidification et des coûts d'intervention assez élevés qu'elles entraîneront.

Nous avons distingué trois classes de terres, en fonction du pH:

- neutre à peu acide: $\text{pH} > 5,5$
- acide : $\text{pH} \ 5,5 \text{ et } 4,0$
- très acide : $\text{pH} < 4,0$

11.2.1.4 Nappe phréatique

C'est un critère très déterminant, en raison des diverses qualités.

La présence d'une nappe salée et acide dans la zone rhizosphérique conditionne la réussite des plantations comme nous l'avons mis en évidence dans le chapitre 8 et l'ont montré d'autres auteurs (Arar, 1972; FAO, 1984) dans des conditions similaires.

Elle intervient par sa profondeur, son pH et sa C.E. Les aptitudes et les interventions nécessaires doivent tenir donc compte de la profondeur la plus faible, du pH et de la salinité.

Concernant la profondeur nous avons distingué trois niveaux de profondeur: $> 200 \text{ cm}$, entre 200 et 150 cm, et $< 150 \text{ cm}$.

Quant à la salinité on distingue les classes suivantes:

- peu salée : $\text{C.E}_n = 4 - 10 \text{ mS/cm}$;
- salée : $\text{C.E}_n = 10 - 20 \text{ mS/cm}$;
- moyennement salée: $\text{C.E}_n = 20 - 35 \text{ mS/cm}$;
- sursalée : $\text{C.E}_n > 35 \text{ mS/cm}$.

Les classes de pH restent définies comme précédemment (11.2.1.3).

11.2.1.5 Exigences des essences forestières

Sous climat aride le comportement des essences forestières est généralement conditionné par les propriétés physiques des sols, à cause de leurs besoins en eau. Cependant dans les conditions de sols salés et acides, la distribution spatiale et la croissance des essences forestières dépendent du niveau de salinité et de l'acidité, comme nous venons de le voir dans les chapitres 7 à 10. Les exigences des essences susceptibles d'être uti-

lisées pour la mise en valeur forestière de ces sols sont données dans les tableaux 11 et 26.

11.2.1.6 Profondeur utile du sol

Nous avons vu que la profondeur exploitée par les racines était fortement limitée par la présence d'un horizon très salé ou très acide. la profondeur utile des différentes classes est déterminée par la profondeur de la nappe (11.2.1.4), le pH et l'acidité des sols.

11.2.2 Les classes d'aptitudes

Les classes d'aptitudes sont définies en fonction des critères de classement et des qualités des terres et des exigences des espèces (tab. 11 et 26). Elles sont les mêmes que celles de notre précédente étude réalisée dans le cadre du projet UNSO "Régénération des sols du Bassin du Sine Saloum" (Daffé et Sadio, 1988), avec quelques légères modifications.

Compte tenu des besoins des populations et de la dégradation des forêts naturelles, la priorité est accordée à la production de bois de feu. Le pâturage est considéré en seconde position.

11.2.2.1 Classe 1: Terres à aptitudes forestières bonnes: production de bois de feu et de service

Cette classe regroupe les terres à faibles contraintes, favorables à une bonne croissance des arbres.

Appartiennent à cette classe tous les sols caractérisés par une texture plus ou moins fine, avec une $C.E_s$ inférieure à 3 mS/cm, un pH (sol et nappe) supérieur à 5,5 au moins dans les 60 premiers centimètres et une nappe phréatique dont la salinité $C.E_n$ est inférieure à 15 mS/cm et la profondeur supérieure à 200 cm.

Elle concerne les sols sulfatés acides hydromorphes salés des glacis de raccordement et les sols salés sulfatés alcalins des terrasses hautes.

Grâce à leur faible salinité et aux pH peu acides et neutres à alcalins, ces sols offrent des conditions favorables à une bonne production forestière et à l'introduction de céréales.

La mise en valeur de ces terres n'exige pas des travaux spéciaux. Mais toutefois afin d'améliorer davantage la fertilité des sols peu acides, il sera nécessaire soit de procéder à une fertilisation organique, soit d'utiliser des espèces fixatrices d'azote.

Grâce aux résultats obtenus dans les parcelles de Ngan et de Fatick, on peut situer la productivité des terres de cette classe entre 2,5 et 4 m³/ha/an. *Eucalyptus camaldulensis* donne 5 m³/ha/an dans la zone, sur terres non salées et non acides (Sadio, 1984).

11.2.2.2 Classe 2: Terres à aptitudes forestières moyennes: production de bois de feu

Cette classe diffère de la précédente par la texture sableuse des sols et par des pH acides à peu neutres compris entre 5,5 et 6,5. Les potentialités sont diminuées par les faibles réserves hydriques qui font qu'avec les mêmes niveaux de salinité que les sols de la classe 1 les arbres sont plus sensibles. Ils ont aussi une fertilité chimique plus faible, à cause du fait que leur complexe absorbant est incapable de retenir suffisamment de bases pour neutraliser l'acidité.

La nappe phréatique a une profondeur supérieure à 200 cm et une C.E < 15 mS/cm.

Appartiennent à cette classe tous les sols sableux peu salés sulfatés, les sols sulfatés acides salés et les sols sulfatés acides hydromorphes salés du glacis inférieur raccordement et des terrasses hautes.

Les aptitudes forestières sont donc inférieures à celles de la classe 1. Seules des essences tolérantes à la salinité et à l'acidité, capables de résister à des déficits hydriques peuvent donner de bons résultats sur ces sols. Néanmoins les plantations pourront donner des productions de 2 à 3 m³/ha/an, avec un bon suivi.

Quelques améliorations de leur fertilité chimique par apports d'engrais verts ou de matières organiques décomposées seront nécessaires pour accroître leur productivité forestière et éventuellement céréalière.

11.2.2.3 Classe 3: Terres à aptitudes faibles: principales pastorales et secondaires forestières

Elle se caractérise par des sols à texture fine ou sableuse peu limoneuse avec une salinité comprise entre 3 et 5 mS/cm. Les pH des sols et des nappes sont acides, compris entre 5,5 et 4,0. Elle regroupe les sols sulfatés acides salés et les sols sulfatés acides hydromorphes salés à pH compris entre 5,5 et 4,5, des tannes à végétation herbacée localement arbustive sur terrasses moyennes et sur levées sableuses. Les nappes phréatiques ont une $C.E_n$ de 10 à 20 mS/cm, et des pH peu acides à acides (pH = 4,5 à 5,5) et une profondeur supérieure à 200 cm.

Cette classe présente donc des potentialités plus faibles que celles des classes 1 et 2. Les principales aptitudes de cette classe sont le pâturage, grâce à l'importance de l'extension des terres dans la zone. D'ailleurs ces terres servent actuellement au parcours du bétail pendant toute l'année, surtout en hivernage.

Les aptitudes forestières sont de moindre importance à cause de la salinité et de l'acidité plus élevées que celles des classes 1 et 2. Ainsi la production que l'on peut tirer des plantations sera de qualité moindre, essentiellement destinée à l'utilisation énergétique. La production de bois sera inférieure à 2 m³/ha/an, comme le témoignent les résultats de Ngan et de Fatick et des anciennes plantations établies sur ces terres.

11.2.2.4 Classe 4: Terres à aptitudes pastorales médiocres et forestières marginales

Il s'agit des sols des tannes localement couverts de végétation herbacée, caractérisés par une $C.E_s$ élevée, comprise entre 3 et 6 mS/cm, des pH acides de l'ordre de 5,5 à 4,0 dans les 80 premiers centimètres. La texture est sablo-limoneuse à peu argileuse. Les nappes phréatiques sont généralement peu profondes (150-200 cm), assez salées ($C.E_n$ = 20-35 mS/cm) et acides (pH = 5,5-4,0) ne remontant pas à moins de 80 cm de la surface du sol pendant l'hivernage.

Les potentialités sont plus limitées que celles des précédentes à cause de la texture relativement plus fine des sols et de la faible profondeur de la nappe. L'introduction d'espèces acidotolérantes et halotolérantes

forestières est possible, mais les contraintes de croissance font qu'elle ne peut être envisagée que dans le cas de reboisement de protection. Toutefois la production de bois d'énergie peut être possible à moyen terme (7 à 10 ans) après quelques interventions de dessalement et de désacidification. Des améliorations pastorales restent possibles grâce à l'introduction d'espèces fourragères.

La réussite de la mise en valeur repose sur le choix des espèces et des techniques d'aménagement. Les espèces utilisées doivent avoir un enracinement traçant car la présence d'horizons plus acides à faible profondeur est défavorable au développement d'un système racinaire pivotant. Les techniques de plantation doivent chercher à favoriser l'infiltration des eaux de pluies au niveau du plant de manière à permettre le lessivage des sels et de l'acidité en profondeur.

11.2.2.5 Classe 5: Terres à aptitudes agricoles actuelles nulles

Cette classe comprend les sols sursalés de terrasses basses et des dépressions, caractérisés par une $C.E_s > 6$ mS/cm, une texture plus ou moins fine argilo-sableuse à limono-argileuse, des pH très acides inférieurs à 4 et par des nappes très acides, très salées ($C.E_n = 20 - 35$ mS/cm) et superficielles (< 100 cm).

Les sols ne présentent aucune aptitude agricole actuelle, mais sont potentiellement aptes à la mise en valeur, à long terme, après lessivage des sels et drainage des nappes jusqu'à 150 cm. Dans ce cas ils peuvent être exploités pour la riziculture inondée.

11.3 **Aménagement des terres pour une mise en valeur agricole à moyen et long termes**

La mise en valeur de ces sols de tannes sur une grande superficie ne peut être effective que si l'on réalise certains travaux d'aménagement au niveau de la zone. Ces travaux concernent la maîtrise de l'eau et les techniques de dessalement, de désacidification et de drainage des sols engorgés ou à nappes superficielles.

11.3.1 *Maîtrise des eaux de surface*

La maîtrise des eaux de surface est un aspect fondamental auquel doit tout d'abord s'attaquer toute intervention d'envergure rentable de mise en valeur de ces terres.

Pour freiner la sursalure par les inondations par les cours d'eau, il est impératif de créer des ouvrages de protection des sols. Il s'agira de construire des digues et des barrages en terre le long des fleuves Saloum et Sine afin de barrer les principaux chenaux de marée. Ces ouvrages devront permettre d'empêcher les inondations des sols des terrasses basses par les eaux sursalées qui seront ainsi poussées plus loin en amont de Kaolack et de Fatick. L'isolement de ces terres de toute influence directe des eaux des cours d'eau mettra ainsi les sols à l'abri de la sursalinisation. Les barrages et les digues devront comporter des ouvertures à clapets pour permettre d'évacuer périodiquement les eaux de rétention.

D'ailleurs vers les années 1940 la plupart des zones (Faoye, Djilass, Fimela) étaient protégées contre les inondations par de grandes digues (Massibot et al., 1946; Charreau, 1963) construites à la limite des terrasses basses. Grâce à la construction de ces digues la riziculture a été longtemps pratiquée dans les zones de dépression et des terrasses basses, car elles permettaient de canaliser les eaux de pluies. Mais depuis l'installation de la sécheresse ces digues ont été abandonnées et sont totalement détruites aujourd'hui.

Contrairement à ce qui est arrivé en Casamance au niveau des vallées de Guidel (Marius et Cheval, 1980) et de Baila (Marius et Aubrun, 1980) et dans les anciens périmètres de riziculture du projet ILACO au cours de la période 1963-1975 (Beye, 1972), l'acidification par poldérisation des sols n'est plus à craindre dans la mesure où les sols sont déjà totalement acidifiés pour la plupart jusqu'à 100 cm de profondeur.

11.3.2 *Dessalement*

Le maintien de la salinité à un niveau bas permettant la mise en culture et le reboisement productif de ces terres doit demeurer une préoccupation permanente dans toutes les interventions. Il concerne à la fois la salinité du sol et des nappes phréatiques.

Grâce aux ouvrages hydroagricoles qui seront réalisés, les sels pourront être dissouts par les eaux des pluies, et évacués périodiquement.

Afin de permettre un dessalement efficace des sols il est primordial que les terres soient aménagées en petites parcelles. Ces parcelles devront être cloisonnées par de petites diguettes de rétention, pour permettre l'infiltration des eaux sur place et la dissolution des sels.

Ces techniques de morcellement des parcelles étaient autrefois assez bien maîtrisées en Casamance par les paysans dans les périmètres de riziculture (Pélissier, 1966). Mais depuis l'installation de la sécheresse la forte salinité et le manque de maîtrise des eaux de surface n'ont plus permis le dessalement des sols; ce qui a beaucoup compromis la riziculture.

Dans le cas des sols à texture fine où l'infiltration est très faible les eaux devront être évacuées vers les cours d'eau à l'aide de drains et d'ouvertures prévues au niveau des digues et des barrages.

Les nappes phréatiques superficielles des sols des terrasses basses devront être nécessairement drainées pour abaisser leur niveau en-dessous de la profondeur critique (100 cm). Ce drainage aura pour intérêt de provoquer la précipitation des sels après dessèchement du profil qui pourront ainsi être dissouts et lessivés hors du système pendant l'hivernage. Mais compte tenu du fait que ces sols présentent encore en profondeur des horizons à pyrite, il faudra veiller à ce que la profondeur de drainage ne dépasse pas 150 cm. Cette profondeur paraît suffisante pour assurer l'installation des arbres des essences à enracinement pivotant, telles que *Eucalyptus spp.*

Pour empêcher la resalinisation des sols par remontée capillaire pendant la saison sèche, il sera impératif de protéger la surface par une couverture morte (paille) ou par le travail de la couche superficielle. Ce dernier en provoquant une rupture de capillarité empêchera les remontées capillaires, comme nous l'avons mis en évidence grâce à un essai mené dans la parcelle PIV de Ngan où nous avons constaté une diminution de 30% de la salinité dans la zone labourée par rapport à celle non travaillée. L'effet du paillage sur le dessalement a été efficacement expérimenté par Beye (1973a) en Casamance qui a constaté une réduction de 50% de la salinité dans la partie supérieure du profil au bout de 4 ans malgré des années peu pluvieuses. Ceci a permis la riziculture sur ces sols avec un rendement

nettement plus élevé que celui des terres non aménagées.

11.3.3 Amélioration de la fertilité

L'acidification a eu comme principale conséquence un appauvrissement absolu des sols en éléments nutritifs. L'hyperacidité constitue une des contraintes, même pour des espèces supposées peu exigeantes en éléments nutritifs telles que la plupart des essences forestières qui n'arrivent plus à bien s'accommoder de ces sols.

La mise en valeur devra s'attaquer tout d'abord à l'abaissement de l'acidité par la correction du pH à l'aide des techniques de chaulage ou des apports de débris de phosphates. Le chaulage est indiqué par les nombreux auteurs (Beye, 1973b; Ponnampetuna et al., 1973; Khouma et al., 1982; Touré, 1982; Curtin et al., 1984; Dent, 1986; Langenhoff, 1986) comme la principale méthode de correction du pH des sols sulfatés acides. Grâce à l'apport du calcium (Ca^{2+}) l'acidité sera progressivement neutralisée, ce qui permettra l'augmentation du pH. L'utilisation des débris de phosphates par Boivin et al. (1987) a permis d'améliorer le pH d'un sol sulfaté acide salé qui est passé de 3,5 à 5,0 et d'assurer la production de riz. Les résultats, quoique donnant un coût prohibitif pour le paysan - 9 tonnes de phosphates/ha - révèlent des possibilités de rentabilisation de ces déchets dans la récupération agricole des sols sulfatés acides du Sénégal.

La correction du pH par ces méthodes occasionne des coûts très élevés de telle sorte que la mise en valeur parfois n'est plus rentable, comme l'a démontré Le Ngoc Sen (1988). Celui-ci propose donc de procéder à des techniques d'aménagement de l'eau et d'irrigation par submersion pour lessiver l'acidité. Mais ceci n'est possible que si l'on dispose suffisamment d'eau, car l'élimination totale de l'acidité actuelle (chap. 5) des sols nécessite des quantités d'eau très élevées. Pour mettre en valeur les sols sulfatés acides à jarosite jeune, il faudra lessiver sur une profondeur d'environ 100 cm des quantités d'acide de l'ordre 660 mol/m^3 .

Le tableau 27 résume les aptitudes et les aménagements nécessaires et indispensables des différentes classes.

Tableau 27: Aptitudes et aménagements nécessaires à la mise en valeur des sols des différentes classes.

Classes	SOL			NAPPE			Aptitudes forestières	Aptitudes agricole	Aptitudes pastorales	Aménagements
	Texture	pH	C.E ₅ (mS/cm)	Prof (cm)	pH	C.E _n (mS/cm)				
Classe 1	fine: limoneuse limono-argileuse, argilo-sableuse	>5,5 au moins sur 80 cm	<1,5	>200	>5,5	<10	1,2,3,4,5,6,7, 8,9,10	Riz et sorgho	non retenues mais possibles	conservation des formation naturelles d'Acacia seyal et apports d'engrais organiques
Classe 2	grossière: sa- bleuse peu limoneuse	>5,5	<1,5	>200	<5,5	<10	1,2,3,4,6,7,8, 11	mil, arachide, cotton et nièbe	non retenues mais possibles	-Amélioration de la ferti- lité par apport de ferti- lisants. -Potets de plantation
Classe 3	fine et grossière	5,5 à 4,0	1,5 à 3	200 à 150	5,5 à 4,0	10 à 20	1,2,4,5,6,7,8, 12	Aucune	Principales	-Amélioration du potentiel fourrager par introduction d'espèces résistantes et productives -Lessivage des sels
Classe 4	fine et grossière	5,5 à 4,0	3,0 à 6	200 à 150	5,5 à 4,0	20 à 35	1,2,4,6,10,12	Aucune	Espèces her- bacées et arbustives	-Amélioration de la ferti- lité -Lessivage des sels et de l'acidité
Classe 5	fine et grossière	<4,0	>6	<150	<4,0	>35	-Actuelle = aucune -Après amé- nagement:1,2, 3,4,5,6,10	-Actuelle = aucune -Après amé- nagement: riz	Aucune	-Lessivage des sels -Drainage des nappes jusqu'à 100 cm

1. Melaleuca viridiflora, 2. Melaleuca leucadendron, 3. Melaleuca quinquervia, 4. Melaleuca acacioides, 5. Eucalyptus camaldulensis, 6. Eucalyptus microtheca, 7. Prosopis juliflora, 8. Prosopis chilensis, 9. Acacia seyal, 10. Parkinsonia aculeata, 11. Casuarina equisetifolia, 12. Tamarix senegalensis.

11.4 Recommandations

La réussite de la mise en valeur de ces terres repose, d'une part sur la maîtrise des différentes techniques d'aménagement de l'espace en général et des sols en particulier, et d'autre part sur le suivi continu des principales contraintes, à savoir la salinité, l'acidité et la nappe.

Pour cela, il nous semble indispensable de veiller au respect des recommandations ci-après.

11.4.1 Niveau de salinité du sol

Sur les échantillons prélevés à la tarière pédologique, on fera des mesures de conductivité électrique sur des extraits aqueux (1/5). Ces mesures ont pour but de connaître la salinité du sol en un point donné. La profondeur de prélèvement peut aller jusqu'à 150 à 200 cm. Deux prélèvements sont conseillés dont l'un entre mai-juin et l'autre à la fin de la saison des pluies. Ces deux prélèvements donnent, respectivement, la salinité maximale et minimale du sol.

11.4.2 Distribution spatiale de la salinité

Afin de connaître la variation spatiale de la salinité, les prélèvements d'échantillons devront couvrir toute l'étendue concernée par la plantation. Ils se feront deux fois par an, aux périodes indiquées précédemment.

11.4.3 Etude des nappes phréatiques

11.4.3.1 Variation de la profondeur

A l'aide des sondages à la tarière pédologique, il faudra chercher à déterminer la profondeur de la nappe. Cette étude a pour but de pouvoir prévenir les effets néfastes des nappes superficielles et peu profonde à cause de l'influence notable qu'elles peuvent jouer sur la rhizosphère.

La connaissance de la variation du niveau de la nappe est indispensable, car elle permet de déterminer la limite de battement pendant l'hi-

vernage et par conséquent la profondeur utile du sol (chap. 8). Ainsi, connaissant le type et la vitesse d'exploitation du système racinaire, on pourra déterminer l'âge à partir duquel les racines des arbres pourront atteindre la nappe phréatique. Cette étude peut se faire par des suivis de tubes piézométriques enfoncés dans le sol ou simplement par deux séries de sondage, comme conseillé précédemment.

11.4.3.2 Qualité de la nappe

A partir des sondages à la tarière, on prélèvera des échantillons d'eau sur lesquels seront mesurés le pH et la salinité et dosés les éléments majeurs. Un prélèvement au milieu de la saison sèche est suffisante compte tenu du fait que ces paramètres sont à leur maximum pendant cette période.

11.4.4 *Choix des essences à utiliser*

Le choix des essences à introduire ne peut précéder les études conseillées aux points 11.4.1 à 11.4.4. Les essences doivent être choisies en fonction de leurs exigences et de la qualité de la nappe phréatique selon les aptitudes des terres et des besoins des populations.

CONCLUSION GENERALE

Ces recherches nous ont permis de mesurer l'impact des conséquences dramatiques des années de sécheresse qui se sont succédées dans la zone depuis 1971 sur l'environnement écologique, le milieu humain et en particulier sur les sols.

Les processus de sursalure et d'acidification des sols déclenchés et amplifiés par les déficits pluviométriques se sont répandus à travers tout le bassin.

Le comportement physico-chimique des sols est étroitement lié à l'influence de la topographie et du réseau hydrographique.

Tous les sols des terrasses basses et de certaines terrasses moyennes, soumis à l'influence du réseau hydrographique, sont devenus de véritables saumures à cause de la précipitation des sels sous l'influence des températures très élevées. L'acidification s'est propagée dans tous les sols, avec une nette dominance dans ceux des terrasses basses et moyennes à cause d'une plus grande richesse en pyrite de leurs sédiments.

La précipitation des sels et le maintien de l'acidité dans le profil confèrent aux sols de mauvaises propriétés chimiques qui constituent de véritables contraintes de mise en valeur.

Il en est résulté une dégradation chimique de la fertilité des sols à cause de l'accumulation excessive de sels solubles et d'éléments acides tels que Al^{3+} , Fe^{3+} , H_2S et H^+ .

La rapidité avec laquelle ces deux phénomènes se sont propagés dans la zone a pris de court les paysans dont les efforts de récupération des terres ont très vite été anéantis.

Malgré la sévérité de la sécheresse et la dégradation du milieu, nos résultats de recherches montrent des possibilités de mise en valeur forestière et pastorale. Les résultats obtenus avec les différentes espèces dans les essais de reboisement à Ngan et Fatick (chap. 10) - malgré la jeunesse des plantations - montrent qu'il est possible d'assurer, sans interventions coûteuses, une production forestière pour le bois de feu et de service. Les reboisements à base des essences telles que *Melaleuca spp.*, *Prosopis spp.* et *Eucalyptus spp.* (chap. 10) permettront de résoudre ainsi la pénurie en bois de feu que connaît actuellement la population.

Mais la mise en valeur sur une grande surface ne peut se faire que grâce à une bonne connaissance, d'une part des caractéristiques physico-chimiques des sols et, d'autre part du fonctionnement dynamique saisonnier de la salinité et de l'acidité. Sa rentabilité nécessitera certains aménagements tant au niveau de l'ensemble du bassin qu'au niveau des microsites.

La salinité étant à première vue le paramètre le plus contraignant et le plus variable dans l'espace et le temps, sa maîtrise et son abaissement à un niveau supportable pour les plantes paraît impératif. Pour cela, l'accent devra être mis tout d'abord, au niveau de l'ensemble du bassin sur la maîtrise de l'eau. L'irrigation étant rendue impossible à cause du manque d'eau douce dans la zone, seule la maîtrise des eaux de pluies permettra de dessaler ces sols. Compte tenu du fait que celles-ci se perdent après chaque pluie dans les cours d'eau sursalés, leur maîtrise nécessitera donc la construction d'ouvrages de rétention tels que barrages en terre et digues. Ces ouvrages devront être munis de clapets pour permettre l'évacuation des eaux après mise en solution des sels. Par la même occasion l'excès d'acidité se trouvera évacué du milieu.

La tendance climatique actuelle ne laissant présager d'aucune évolution vers la situation d'avant 1971 invite à davantage d'efforts dans la recherche de solutions permettant de mieux comprendre le fonctionnement de ces sols afin de permettre, à moyen et long termes, leur mise en valeur agricole à grande échelle. Grâce à des aménagements adéquats et des suivis réguliers de la variation de la salinité et de l'acidité, ces sols pourront permettre une bonne production agricole (sensu lato), compte tenu de leur fertilité potentielle.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abrahamsen, G., 1983. Sulphur pollution: Ca, Mg and Al in soil and soil water and possible effects on forest trees. In Ulrich, B. et al. (eds.). Effects of Accumulation of air pollutants in forests ecosystems. D. Reidel Publishing Company Holland, pp. .
- Agarwal, R.R., J.S.P. Yadav and R.N. Gupta, 1979. Saline and alkali soils of India. *Indian Council of Agric. Resear.*, New Delhi, 186 p.
- Arar, A., 1972. L'irrigation et le drainage dans leurs rapports avec la salinité et la saturation des sols par l'eau. In *FAO: La salinité, Bull, Irig. et Drainage*, no. 7, pp. 98-125.
- Arkesteyn, G.J.M.W., 1980. Pyrite oxidation in acid sulphate soils. The role of microorganisms. *Plant and soil vol. 54*, pp. 119-134.
- Aswathappa, N., N.E. Marcar and L.A.J. Thomson, 1986. Salt tolerance of Australian Tropical and Subtropical Acacias. In: *Australien Acacias in Developing Countries: Proceedings of an international workshop*, Gympie, Qld., Australia, 4-7 August 1986, 196 p. pp. 70-73.
- Aubréville, A., 1950. Flore forestière soudano-guinéenne. *AOF-CAMEROUN-AEF, Orstom Soc. Ed. Geogr. Mar. et col.*, Paris, 523 p.
- Aubrun, A., 1988. Mangrove ancienne de Basse Casamance (Sénégal): caractérisation-Pédologie-Sédimentologie. *Thèse de Doctorat de l'Univ. Louis Pasteur Strasbourg*, 165 p.
- Bangash, S.H., 1977. Salt tolerance of forest tree species as determined by germination of seeds at different salinity levels. *Pakistan Journal of Forestry*, 27 (2), pp. 93-97.
- Baule, H. et Fricker, C., 1969. La fertilisation des arbres forestiers. *BLV Verlagsgesellschaft MBH, München*, 255 p.
- Beers, W.F.J. van., 1962. Acid sulphate soils. *ILRI, Wageningen, Bull.* no. 3, 31 p.
- Benaricha, B., 1985. Etude pédologique du reboisement du Lac Tanma (région de Thiès). Etude de l'influence de la salure sur la mortalité des différentes essences. *Rap. de stage d'élève 2e année Orstom, Orstom/Dakar*, 76 p.
- Berthelin, J., S. Sadio, B. Guillet et J. Roruller, 1983. Altération expérimentale de minéraux argileux DI- et Trioctaédriques dans un podzol et dans un sol brun acide. *Sci. Géol. Mém.*, no. 71, Strasbourg,

pp. 13-23.

- Beye, G., M. Touré and G. Arial, 1975. Acid sulfate soils of West Africa. Problems of their management for agriculture use. *Rice Research Conference. Los Baños, Philippines*, 10 p.
- Beye, G., 1973a. Une méthode simple de dessalement des sols de tanne de Casamance: le paillage. *Agr. Trop.* no. 28, pp. 537-548.
- Beye, G., 1973b. La fertilisation phosphatée et azotée du riz sur sols sulfatés acides du polder de Médina (Basse-Casamance). *Agr. Trop.*, no. 28, pp. 767-775.
- Beye, G., 1972. L'acidification des sols de mangrove de Basse Casamance après leur mise en polder, effet du type d'aménagement. *IRAT Casamance*, 17 p.
- Boivin, P. et P. Zante, 1987. Essai de récupération d'un sol sulfaté acide en cases lysimétriques, *ORSTOM/Dakar*, 35 p.
- Boivin, P., 1984. Etude pédologique de la vallée de Koubalan (Kalounayes). Etude de la variabilité spatiale du pH et de la conductivité d'un sol de tanne. *ORSTOM/Dakar*.
- Boivin, P. et J.Y. Le Brusq, 1984. Etude pédologique des Kalounayes, Cartes des sols des vallées de Koubalan et Tapilane. *ORSTOM/Dakar*, 70 p. + 4 cartes.
- Bolt, G.H., 1978. Transport and accumulation of soluble soil components. In: *Bolt et al. (eds.). Soil Chemistry, A. Basic elements. Elsevier Sci. Pub. Company, Amsterdam*, pp.126-140.
- Bonfils, P. et J. Faure, 1965. La salure des terres de la Région de Tattaguine-Dangane. *An. CRA, Bambey*, pp. 111-121.
- Boulaine, J., 1979. Cours de pédologie générale. *INA, Paris*, pp. 97-183.
- Bowen, G.D. and P. Reddell, 1986. Nitrogen fixation in Casuarinaceae. 18th IUFRO World Congress, Yugoslavia, 1986, pp. 38-49.
- Boyko, H. and E. Boyko, 1966. Experiments of plant growing under irrigation with saline waters from 2000 mg/l T.D.S. (Total diluted solids) up to sea-water of oceanic concentration, without desalination. In: *Boyko (ed.): salinity and Aridity. Dr. W. Junker, Pub. The Hague*, pp. 214-282.
- Breudeau, E., 1978. Etude pédologique de la cuvette de Nianga (secteur A). Région du fleuve Sénégal. *ORSTOM/Dakar*.

- Breemen, N. van, 1988a. Redox processes of iron and sulfur involved in the formation of acid sulfate soils. In *J.W. Stucki et al. (eds.). Iron in Soils and Clay minerals*, D. Reidel Publishing Company, pp. 825-841.
- Breemen, N. van, 1988b. Long-Term chemical mineralogical and morphological effects of iron-redox processes in periodically flooded soils. In: *J.W. Stucki et al. (eds.). Iron in Soils and Clay minerals*, by D. Reidel Publishing Company, pp. 811-823.
- Breemen, N. van, 1988c. Effects of seasonal redox processes involving iron on the chemistry of periodically reduced soils. In: *J.W. Stucki et al. (eds.), Iron in Soils and Clay minerals*, by Reidel Publishing Company, pp. 797-809.
- Breemen, N. van, 1987. Effects of redox processes on soil acidity. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 35 (1987), pp. 271-279.
- Breemen, N. van, C.T. Driscoll and J. Mulder, 1984. Acidic deposition and Internal proton sources in acidification of soils and waters. *Nature* vol. 307, 1984, pp. 599-604.
- Breemen, N. van and R. Brinkman, 1978. Chemical equilibria and soil formation. In: *Bolt et al. (eds.): Soil chemistry*, A. Basic elements, Elsevier Sci. Pub. Company, Amsterdam, pp. 141-170.
- Breemen, N. van, 1976. Genesis and solution chemistry of Acid Sulfate soils in Thailand. *Agr. Res. Depts. no. 848*, PUDOC, Wageningen.
- Breemen, N. van, 1975. Acidification and deacidification of Coastal plain soils as a result of periodic flooding. *Soil Sci., Socie. of America Proceedings*, Vol. 39, no. 6, pp. 1153-1157.
- Bresler, E., G. Dagan, R.J. Wagenet and A. Laufer, 1984. Statistical analysis of salinity and texture effects on spatial variability of soil hydraulic conductivity. *Soil sci. Amer. Journ.*, vol. 48, no. 1 (1984), pp. 16-25.
- Bresler, E., B.L. McNeal and D.L. Carter, 1982. Saline and sodic soils. Principles-Dynamics-Modeling. *Springler-Verlag, Av. Series in Agri. Sci.* 10, 236 p.
- Bresler, E., 1981. Transport of salts in soils and subsoils. In: *Holms et al. (eds.): Land and Stream Salinity*, Elsevier, Amsterdam, pp. 35-62.
- Brinkman, W.J. and Vo-Tong Xuan, 1986. Melaleuca leucadendron S.L. A useful and versatile tree for acid sulphate soils and some other poor environments. *Landbouwhogeschool, Wageningen, Netherlands*, 16 p.

- Brinkman, R., 1979. Ferrollysis, a soil-forming process in hydromorphic conditions. *Agricultural Research reports no. 887, PUDOC, Wageningen*.
- Burrough, P.A., M.E.F. van Mensvort and J. Bos, 1986. Spatial analysis as a reconnaissance survey technique: an example from acid sulphate soil regions of the Mekong Delta, Vietnam. In: *Dost (ed.): Selected papers of the Dakar Symposium on Acid sulphate soils, ILRI Pub. no. 44*, pp. 68-89.
- Carson, C.D., D.S. Fanning and J.B. Dixon, 1982. Aefisols and ultisols with acid sulfate weathering features in Texas. In: *L.R. Hosner (ed.). Acid sulfate weathering. SSSA special pub. no. 10, Soil science society of America, Madison*, pp. 127-146.
- Chamley, H., 1988. Les milieux de sédimentation. *Lavoisier, TEC/DOC, France*, 173 p.
- Chapman, V.J., 1966. Vegetation and salinity. In: *Boyko (ed.): Salinity and Aridity. DR.W. Junk Pub. The Hague*, pp. 23-42.
- Charreau, C., 1963. Aperçu sur les alluviaux rencontrés au Sénégal et les problèmes de mise en valeur. *Se Réunion CROACUS, Freetown (Sierra Leone)*, 15 p.
- Cheverry, C., 1974. Contribution à l'étude pédologique des polders du Lac Tchad. Dynamique des sels en milieu continental subaride dans des sédiments argileux et organiques. *Thèse de Doctorat d'Etat ès-Sci. naturelles, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg*, 275 p.
- Churchill, D.M., 1981. Observations on the uses of three valuable Casuarina species from Southern Australian. In: *Midgley et al. (1981)*, pp. 172-174.
- Clément, J. et S. Straofogel, 1986. Disparition de la forêt: Quelles solutions à la crise du bois de feu? *L'Harmattan/Earthscan, As-Bois-Feu*, 191 p.
- Conde, L.F., L.R. Donals and R.F. Ficher, 1981. Growth studies on Melaleuca. In: *Greiger R.K. (ed.): Proceedings of Melaleuca symposium, Florida, 23-24 sept. (1981)*, 140 p.
- Cook, P. and W. Mayo, 1977. Sedimentology and Holocene history of a tropical Estuary (Broad Sound). *B.M.R. Bull., no. 170*, 206 p.
- C.P.C.S., 1967. Classsification des sols. *Ec. Nat. Sci. Agr., Paris-Grignon*, 67 p.

- Curtin, D., H.P.W. Rostad and P.M. Huanf, 1984. Soil acidity in relation to soil properties and lime requirement. *Can. Journ. Soil Sci.*, no. 64, pp. 545-554.
- Daffé, M. et S. Sadio, 1988. Etude pédologique. Régénération des sols salins du Bassin du Sine Saloum. *Projet UNSO/SEN/83/XO2/ISRA/DRPF*, 78 p. + 90 p.
- Daffé, M. et S. Sadio, 1987. Régénération des sols salins du Bassin du Sine Saloum. Notice de la carte d'occupation des sols et du zonage. *Projet UNSO/SEN/83/XO2, ISRA/DRPF*, 8 p. + 6 pz An., 25 cartes à 1/15000.
- Dafni, A. et Negbi, I. 1978. Variability in *Prosopis farcta* in Israel: Seed germination as affected by temperature and salinity. *Israel Journal of Botany*, no. 27, 3/4, pp. 147-159.
- Dent, D., 1986. Acid sulphate soils: a baseline for researc and development. *ILRI pub. no. 39*, 204 p.
- Dielman, P.J., 1972. Dynamique des sels dans le système Sol-Eau. In: *FAO: La salinité-Séminaire de Bagdad, Bul. Irrig. Drain*, no. 7, pp. 45-55.
- Diemer, G. et E. Van der Laan, 1987. L'irrigation au Sahel. *Kharthala-CTA* (ed.), 226 p.
- Diop, E.S., 1986. Estuaires holocènes tropicaux. Etude de géographie physique comparée des <<Rivières du Sud>> du Saloum (Sénégal) à la Mellacorée (République de Guinée). *Thèse de Doctorat d'Etat ès-Lettres, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg I*, 522 p.
- Diop, E.S., 1978. L'estuaire du Saloum et ses bordures (Sénégal). Etude géomorphologique. *Thèse de Doctorat de 3e cycle, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg*, 255 p.
- Doesburg, J.D.J. van, L. Vergouwen and L. van der Plas, 1982. Konyaite, $\text{Na}_2\text{MG}(\text{SO}_4)2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, a new mineral from the great Konya Basin, Turkey. *American Mineralogy*, vol. 67, pp. 1035-1038.
- Driessen, P.M. and M. Soepraptohardjo, 1974. Soil for agricultural expansion in Indonesia, 63 p.
- Droubi, A. Al, 1976. Géochimie des sels et des solutions concentrées par évaporation. Modèle Thermodynamique de simulation. Application aux sols salés du Tchad. *Thèse de Docteur Ingénieur, Sci. Géol., Mém. no. 46, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg*, 177 p.

- Durand, J.H., 1956. Mouvements des sels dans les sols. In: *Rapports du 11e Congrès International de la Science du Sol. Vol. D. Com. VI, Technologie, Paris (1956)*, pp. 543-546.
- Elgabaly, M.M., 1972a. Problèmes d'échantillonnage, d'analyse et de cartographie des sols salins. In: *FAO: La Salinité. Séminaire de Bagdad, Bull. Irrig. Drain. no. 7*, pp. 33-44.
- Elgabaly, M.M., 1972b. Restauration et aménagement des sols salins. In: *FAO: La salinité, Séminaire de Bagdad, Bull. Irrig. Drain, no. 7*, pp. 56-90.
- Emerit, M., 1960. Etude granulométrique de la mangrove de Joal (Sénégal). *Rap. Tech., UNESCO/Unité Rosta Breda, Dakar*, 175 p.
- FAO, 1985. Guidelines: land evaluation for irrigated agriculture. *FAO soils Bulletin no. 55*, 231 p.
- FAO, 1984. Soil survey investigations for irrigation. *FAO Soils Bulletin*, no. 42, 188 p.
- FAO, 1978. Directives de la description des sols. *FAO/Rome*, 72 p.
- FAO, 1976. Cadre pour l'évaluation des terres. *Bull. Pedo. FAO*, no. 32, 63 p.
- FAO, 1972. La salinité - Séminaire de Bagdad. *Bull. irrig. and drainage no. 7*, 271 p.
- Fanning, 1986. Evidence of eluviation of sulfur and heavy metals in sulfate soils in recent Baltimore Harbour (MD) dredged materials. In: *Dost (ed.). Selected papers of the Dakar symposium on acid sulphate soils, ILRI Pub. no. 44*, pp. 38-48.
- Faure, H., J. Vieuillefon, C.A. Diop, 1974. Evolution de la ligne de rivage holocène en Casamance (Sud du Sénégal). *Bull. Liaison. ASS-Sénégal. pour l'Etude du Quatern. afric., Dakar*, no. 42-43.
- Giffard, P.L., 1971. Etude des possibilités d'afforestation des sols salés du Sine Saloum. *Rapport d'activités, CTFT*, 70 p.
- Grinsven, H. Van, 1988. Impact of acid atmospheric deposition on soils. Quantification of chemical and hydrologic processes. *Ph.D. thesis. Wageningen Agricultural University*, 215 p.
- Gueddari, M., 1984. Géochimie et thermodynamique des évaporites continentales. Etude du Lac Natron en Tanzanie et du Chott el Jerid en Tunisie. *Thèse de Doctorat ès-Sci. Nat., Sci. Géol., Mém. no. 76. Univ. Louis Pasteur, Strasbourg*, 143 p.

- Gueddari, M., 1980. Géochimie des sels et des saumures du Chott El Jerid (Sud tunisien). *Thèse de Doctorat de 3e cycle, Univ. Louis Pasteur Strasbourg*, 131 p.
- Gupta, S.K. and I.C. Gupta, 1987. Management of Saline Soils and Waters. *Oxford & IBH Publishing Co., New Delhi*, 339 p.
- Hamza, M., 1980. Réponses des végétaux à la salinité. *Physio. vegt.*, 18(1), pp. 69-81.
- Hesse, P.R., 1971. Oxidation, Reduction potentials. In: *Textbook of Soil Chemical analysis*, pp. 436-466.
- Hillman, R.M., 1981. The influence of plant communities upon the hydrology of catchments. In: *Holmes et al., (eds.): Land and stream salinity. Elsevier Scient. Publish. Company, Amsterdam*, pp. 11-34.
- Hoorn, J.W. van, 1972. Réaction des cultures à la salure et aménagement de l'agriculture sur des sols salins. In: *FAO: La salinité, Bul. Irig. et Drainage*, no. 7, 1972, pp. 153-164.
- ISRIC/FAO, 1988. Revised legend of the FAO-UNESCO; Soil Map of the World. No. 88/1, 109 p.
- Kalck, Y., 1978. Evolution des zones à mangroves du Sénégal au Quaternaire récent. Etudes géologiques et géochimiques. *Thèse 3e cycle, U.L.P. Strasbourg*, 117 p.
- Kamphorst, A. and G.H. Bolt, 1978. Saline and sodic soils. In: *Bolt et al. (eds.): Soil chemistry. A. Basic elements. Elsevier Sci-Pub. Company, Amsterdam*, pp. 171-191.
- Khouma, M. et M. Touré, 1982. Effects of lime and phosphorus on the growth and yield of rice in acid sulphate soils of the Casamance (Sénégal). In: *Dost et al. (eds.): Proceedings of the Bangkok Symposium on acid sulphate soils. ILRI Pub. no. 31*, pp. 237-250.
- Konikov, L.F., 1981. Role of solute-transport models in the analysis of groundwater salinity problems in agricultural areas. In: *Holmes et al. (eds.): Land and Stream Salinity. Elsevier, Amsterdam*, pp. 187-205.
- Konsten, C.J.M., R. Brinkman and W. Andriesse, 1986. A field laboratory method to determine total potential and actual acidity in acid sulphate soils. In *Dost (ed.): Selected papers of the Dakar Symposium on Acid Sulphate Soils, ILRI Pub. no. 44*, pp. 106-134.
- Kretinin, V.M. and L.V. Dubovskaya, 1984. Reactions of trees to soil alkalinity and salinity. *Forest Soil Science, Soviet Soil Science, Vol. 16*

- (4), pp. 52-58.
- Langenhoff, R., 1988. Distribution, mapping, classification and use of acid sulphate soils in the tropics. A literature study. *STIBOKA, Interne Mededeling no. 74*, 133 p.
- Le Borgne, J., 1988. La pluviométrie au Sénégal et en Gambie. *Univ. Cheick A. Diop., Dakar/Sénégal*, 95 p.
- Leroux, M., 1980. Le climat. In: *Atlas du Sénégal, Ed. Jeune Afrique*, pp. 12-17.
- Le Brusq, J.Y., 1984. Evolution de la salinité des sols et des eaux en relation avec la riziculture submergée dans le Delta du fleuve Sénégal, *ORSTOM/Dakar*.
- Le Brusq, J.Y., 1980. Etude pédologique des cuvettes de la vallée du Lampsar. *ORSTOM/Dakar*.
- Le Ngoc Sen, 1986. The evaporation and acidification process in an acid sulphate soil. In: *Dost (ed.): Selected papers of the Dakar Symposium on Acid Sulphate soils, ILRI Pub. no. 44*, pp. 135-149.
- Linares De Sapir, O., 1971. Shell middens of Lower Casamance and problems of Diola protohistory. *West. Afric., J. Archeology, Nigeria, 1*, pp. 23-54.
- Loyer, J.Y., 1988. Les sols salsodiques. In: *Girard et al. (1988) (eds.): Référentiel pédologique français, INRA/AFES*.
- Loyer, J.Y., P. Boivin, J.Y. Le Brusq et P. Zante, 1986. Les sols du domaine fluvio-marin de Casamance (Sénégal): Evolution récente et réévaluation des contraintes majeures pour leur mise en valeur. In: *Dost (ed.): Selected papers of the Dakar Symposium on Acid sulphate soils, ILRI Pub. no. 44*, pp. 16-22.
- Loyer, J.Y. et J.Y. Le Brusq, 1982. Relations entre les mesures de conductivité sur des extraits de sols de rapports sol/solution variables dans la vallée du fleuve Sénégal. *Cah. ORSTOM, série Pédol. Vol. XIX, no. 3*.
- Maas, E.V., 1986. Salt tolerance of plants. *Applied Agricultural Research vol. 1, no. 1*, pp. 12-26.
- Marius, C., 1988. Les sols sulfatés acides. In: *Girard et al. (1988) (eds.): Référentiel pédologique français, INRA/AFES*.
- Marius, C., 1985. Mangroves du Sénégal et de la Gambie. Ecologie-Pédologie-Géochimie. Mise en valeur et aménagement. *Mémoire ORSTOM no. 106*, Paris.

- Marius, C. et M. Cheval, 1980. Les sols des mangroves et tannes de la région des Kalounayes, *ORSTROM/Dakar, multigr.*, 10 p.
- Marius, C., 1979. Effets de la sécheresse sur l'évolution des sols de mangroves du Sénégal. *ORSTOM/Dakar*.
- Massibot, J.A. et L. Carles, 1946. Mise en valeur des tannes rizicultivables du Sine (Sénégal). *Agronomie tropicale*, vol. 1, no. 9-10, pp. 451-466.
- Mayer, R., 1983. Interaction of forest canopies with atmospheric constituents: aluminium and heavy metals. In Ulrich, B. et al. (eds.).
- Mensvoort, M.E.F. van, Duong Van Ni and J. van der Schans, 1989. Leaching with seawater as a method for chemical improvement of acid sulfate soils. *Proceedings of Int. Symp. on Rice Production on Acid Sulfate Soils of the Tropics. Kandy, Sri Lanka, 26-30 jun, 7 p.*
- Mensvoort, M.E.F. van, and Le Quang Tri, 1986. Morphology and genesis of actual acid sulfate soils without jarosite in the Ha Tien Plain, Mekong Delta, Vietnam. In: Dost (ed.): *Selected papers of the Dakar Symposium on Acid Sulphate soils*, ILRI Pub. no. 44, pp. 11-15.
- Michel, P., 1973. Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Etude géomorphologique. *Mem. ORSTOM no. 63*, 3 tomes, Paris.
- Miller, M.R., P.L. Brown, J.J. Donovan, R.N. Bergatino, J.L. Sonderegger and F.A. Schmidt, 1981. Saline seep development and control in the North America Great plains. Hydrological aspects. In: Holmes et al. (eds.): *Land and Stream Salinity. Elsevier, Amsterdam*, pp. 155-141.
- Moral, P., 1965. Le climat du Sénégal. *Rev. Geogr. Afr. occid, Dakar*, no. 12, pp. 49-70.
- Mougenot, B., 1982. Etude pédologique de la cuvette de Ntiagar (Partie nord). Delta du fleuve Sénégal. *ORSTROM/Dakar*.
- Niang, A.I., 1985. Etudes des reboisements sur les terres salées du Sine Saloum (Sénégal). Bilan et perspectives de 12 années de recherches. *Mémoire de fin d'étude, 2e année ESAT Montpellier*, 126 p.
- Nordstrom, D.K., 1982. Aqueous pyrite oxidation and consequent formation of secondary iron minerals. In: L. Hossner (ed.). *Acid sulfate Weathering. SSSA Special Publication no. 10. Soil Sci. Amer. Madison*, pp. 37-56.
- ORSTOM/ISRA, 1988. Mise en valeur des mangroves du Sénégal. *Rapport final du Projet, CEE/T.S.D.A. 104(MR)*, 64 p. *ORSTOM/Dakar*.

- Pankova, Ye.I. and L.P. Rubtsova, 1983. Salinization of the soils of the dry and desertified steppes of Mongolia. *Soviet Soil Science*, vol. 15, no. 5, pp. 1-9.
- Patrick, W.H.Ir. and C.N. Reddy, 1978. Chemical changes in rice soils. In: *Soils and Rice, IRRI, International Symposium on Soils and Rice*, p. 361-379, 825 p.
- Paycheng, C., 1980. Méthodes d'analyses utilisées au laboratoire commun de Dakar. *RSTOM*, 104 p. multigr.
- Pelissier, P., 1966. Les paysans du Sénégal. *Imprimerie Saint Yrieux*, 950 p.
- Pereira-Barreto, S., 1985. Désertification et salinisation des sols et des eaux. *COMIDES II, Dakar/TCP/SEN/4503*, 30 p.
- Pereira-Barreto, S., 1961. Etudes pédologiques des abords NE du Lac Tanma en vue de l'implantation d'un village pionnier. *ORSTROM/Dakar*, 20 p.
- Pettijohn, F.J., P.E. Potter and R. Siever, 1987. Sand and Sandstone. *Springer-Verlag (ed.)*, New York, 553.
- Ponnamperuma, F.N., T. Attanandana and G. Beye, 1973. Amélioration of acid sulphate soils for lowland rice. In: H. Dorst (ed.). *Acid sulphate soils. Proceed. Int. Symp. Wageningen, ILRI Pub.*, 18, Vol. 11, pp. 391-406.
- Pons, L.J., 1986. Should acid sulphate soils be classified among the inceptisols or the entisols? In: *Dost (ed.): Selected papers of the Dakar symposiums of Acid Sulphate Soils, ILRI Pub. no. 44*, pp. 90-96.
- Pons, 1966. Geogenesis and pedogenesis in the young-holocene coastal plain of the three Guiana's (South America). In: *Tijdschr. Kon. Ned. Aard. Gen. 83*, 153-172.
- Pons, L.J., 1964. Pyrite as a factor controlling chemical "ripening" and formation of "cat clay" with special reference to the coastal plain of Surinam. *Agr. Exp. Station Paramaribo, Bull. no. 82*, 141-161.
- Pons, L.J., M.E.F. van Mensvoort and Le Quang Tri, 1986. Proposal for classification of mineral Vietnamese acid sulphate soils according to Soil Taxonomy. *Dakar Symposiums on Acid sulphate soils*, 1986, 11 p.
- Pons, L.J. and N. van Breemen, 1982. Factors influencing the formation of potential acidity in tidal swamps. In: *Dost et al. (eds.): Proceedings of the Bangkok Symposium on acid sulphate soils, ILRI Pub. no. 31*, pp. 37-51.

- Pons, L.J. and W. van der Kevie, 1969. Acid sulphate soils in Thailand. Studies on the morphology, genesis and agricultural potential of soils with cat clay. *Kingdom of Thailand, Minis. of Nat. Development, Soil Survey division*, 65 p.
- Pons, L.J. and I.S. Zonneveld, 1965. Soil ripening and soil classification. Initial soil formation in alluvial deposits and a classification of the resulting soils. In: *ILRI, Pub. no. 13*, Wageningen, The Netherlands.
- Popp, M., F. Larher and P. Neigel, 1985. Osmotic adaptation in Australian mangroves. *Vegatatio no. 61, Dr. N. Junk Publish., Nether.*, pp. 247-253.
- Popp, M., F. Larher and P. Weigel, 1984. Chemical composition of Australian Mangroves III. Free Amino Acids, total methylated Onium compounds and total Nitrogen. *Z.+ Pflanzenphysiol. Bd. 114,S*, 15-25.
- Pulford, I.D., C.A. Backes and H.J. Duncan, 1986. Inhibition of pyrite oxidation in coal mine waste. In: *Dost (ed.): Selected papers of Dakar Symposium on Acid Sulphate Soils, ILRI Pub. no. 44*, pp. 59-67.
- Rakeja, P.C., 1966. Aridity and salinity in Boyko (ed.): Salinity and Aridity. *Dr. W. Junk Pub. The Hague*, pp. 43-127.
- Reddell, P., R.C. Foster and G.D. Bowen, 1986. The effects of sodium chloride on growth and nitrogen fixation in *Casuarina obesa* MIQ. *New Phytol. (1986) 102*, pp. 397-408.
- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *USSLS/USDA, Agriculture Handbook no. 60*, 160 p.
- Ritzema, C.J., 1986. The development and behaviour of (potential) acid sulfate soils. A literature review, *ICW, Wag., Nether.*, 26 p.
- Rivière, A., 1977. Méthodes granulométriques. Techniques et interprétations. *Masson (ed.)*, pp. 25-49, 170 p.
- Roux, P.J. Le, 1974. Establishing vegetation in saline soil to stabilise aeolian sand at Walvis Bay, South West Africa. *Forestry in South Africa, no. 15*. pp. 43-46.
- Sadio, S., 1987. Etude pédologique des sols salés et sulfatés acides de l'île de Ngan (Sine Saloum). *ORSTOM/Dakar*, 70 p.
- Sadio, S., 1986a. Etude pédologique des facteurs de mortalité des essences forestières introduites en milieux salés au Sénégal. *ORSTOM/Dakar*, 66 p. + 34 p. An.

- Sadio, S., 1986b. Tolérance aux sels des essences forestières., Etude expérimentale. *ORSTOM/Dakar*, 40 p.
- Sadio, S., 1985. Recherches sur la tolérance aux sels des essences forestières. *Rap. d'activités, Mai 1984 à Mai 1985, ORSTOM/Dakar*, 18 p.
- Sadio, S., 1984. Comportement de quelques provenances de *Eucalyptus camaldulensis* sur différents types de sols et zones climatiques au Sénégal. *Mem. confir. chercheur, ISRA/DRPF, Dakar*, 130 p.
- Sadio, S., 1982. Altération expérimentale de phyllosilicates-tests sous végétations forestières acidifiantes. *Thèse de Docteur-ingénieur, Univ. Nancy I, Fac. Sci. Nat.*, 120 p.
- Sall, M. et E.S. Diop, 1976. Géomorphologie et évolution des lignes de rivage holocène dans les îles du Saloum. *Bull. spécial Ass. Sénégal pour l'Etude du Quatern. afric.*, *Dakar*, no. 58, pp. 51-58.
- Sall, M. et E.S. Diop, 1975. Le Gandoul et les îles Betanti. Etude géomorphologique. *Bull. Ass. Sénégal pour l'Etude du Quatern. afric.*, *Dakar*, no. 44-45, pp. 47-55.
- Schwartzman, U., 1988. Occurrence and formation of iron oxides in various pedoenvironments. In: *Stucki J.W. et al. (eds.). Iron in Soils and Clay Minerals*, pp. 267-307.
- Segalen, P., R. Fauck, M. Lamouroux, A. Perraud, P. Quantin, P. Roederer et J. Vieillefon, 1979. Projet of soil classification. *ISRIC-Wageningen, Tech. Paper no. 7*, pp. 62-71, 130 p.
- Seiny Boukar, L., 1983. Etude pédologique de la cuvette de Nder, Lac de Guiers (Région du fleuve Sénégal). *ORSTOM/Dakar*, 100 p.
- Servant, J., 1975. Contribution à l'étude des terrains halomorphes. L'exemple des sols salés du Sud et du Sud-Ouest de la France. *Thèse de Doct. d'Etat, INRA-ENSA, Montpellier*.
- Snedaker, S.C., 1978. Les mangroves: leur intérêt et leur conservation. In: *Nature et Ressources-UNESCO, Vol. no. XIV, no. 3*, pp. 7-15, 39 p.
- Szabolcs, I., 1989. Salt-affected soils. *C.R.C. Press, U.S.*, 274 p.
- Talsma, T., 1981. Transport of salts in catchments and soils. In: *Holmes et al. (eds.): Land and Stream Salinity, Elsevier, Amsterdam*, pp. 103-113.
- Thawornwong, N. and A. van Diest, 1974. Influence of high acidity and aluminium on the growth of lowland rice. *Plant and soil* 41(1), pp. 141-159.

- Thiam, M.D., 1986. Géomorphologie, Evolution et sédimentologie des terrains salés du Sine Saloum (Sénégal). *Thèse de 3e cycle, Univ. Paris I*, 186 p.
- Thomson, L.A.J., 1986. Australian Acacias for saline, alkaline soils in the hot, dry subtropics and tropics. In: *Australian Acacias in Developing countries. Proceedings of an international workshop: Gympie, Qld., Australia, 4-7 August 1986*, 196 p., pp. 66-69.
- Tomar, O.S. and R.K. Gupta, 1985. Performance of some forest tree species in saline soils under shallow and saline water-table conditions. *Plant and soil* 87, 1985, pp. 329-335.
- Tomlinson, P.B., 1986. The botany of mangroves. *Cambridge University Press, London*, 413 p.
- Touré, M., 1982. Improvement of acid sulfate soils: effects of lime, wood ash, green manure and prefooding. In: *Dost et al. (eds.): Proceedings of the Bangkok Symposium on acid sulphate soils, ILRI Pub. no. 31*, pp. 223-236.
- Tricart, J., 1961. Notice explicative de la carte géomorphologique du delta du Sénégal à 1/100 000. *Mémoires du BRG*.
- Turnbull, J.W. and P.N. Martensz, 1981. Seed production, collection and germination in Casuarinaceae, pp. 126-132. In: *Midgley et al. (eds.): Casuarina: Ecology-Management and Utilization. Proceedings of an international workshop, Canberra, Australia 17-21 august 1981*, 286 p.
- Ulrich, B., 1983a. Soil acidity and its reaction to acid deposition. In: *Ulrich, B. et al. (eds.). Effects of Accumulation of air pollutants in forest ecosystems. D. Reidel Publishing Company, Holland*, pp. 1-29.
- Ulrich, B., 1983b. A concept of forest ecosystem stability and of acid deposition as a driving force for destabilization. In: *Ulrich, B. et al. (eds.). Effects of Accumulation of air pollutants in forest ecosystems. D. Reidel Publishing Company, Holland*, pp. 1-29.
- UNESCO/FAO, 1973. Man's influence on the hydrological cycle. Irrigation and Drainage paper. Special issue 17.
- UNSO, 1983. Rapport de la mission sur la régénération des sols salins (Tanns). *Projet SEN/83/X02*, 98 p.
- USDA/S.S.S., 1987. Keys to soil Taxonomy. *SMSS, Technical Monograph H 6, Cornell University*, 280 p.

- Vergouwen, L., 1981. Salts minerals and Water from soils in Konya and Kenya. *Ph.D. Thesis Wag., Univ. Netherl.*, 140 p.
- Vieillefon, J., 1977. Les sols des mangroves et des tannes de Basse-Casamance (Sénégal). Importance du comportement géochimique du soufre dans leur pédogenèse, *ORSTOM, Mem. no. 83*, 291 p.
- Vlek, P., 1971. Some morphological, physical and chemical aspects of acid sulphate soils in Thailand. *Report SSR.84, Soil survey division MND/DLD, Thailand*, 34 p.
- Vo-Tong Xuan, Nguyen Kim Quang and Le Quang Tri, 1982. Rice cultivation on acid sulphate soils in the Vietnamese Mekong delta. In: *Dost et al. (eds.): Proceedings of the Bangkok symposium on acid sulphate soils, ILRI Pub. no. 31*, pp. 251-271.
- Wada, H., 1986. The process of pyrite formation in mangrove soils. In: *Dost (ed.). Troisième symposium international sur les sols sulfatés acides, Dakar (1986)*, pp. 24-37.
- Woodall, S.L., 1981. Site requirements for Melaleuca seedlings establishment. In: *Geiger R.K. (ed.): Proceedings of Melaleuca symposium, Florida, 23-24 sept. (1981)*, 140 p.
- Yadav, J.S.P., 1981. Soil limitations for successful establishment and growth of Casuarina plantations. In: *Midgley et al. (eds.), Casuarina: Ecology-Management and Utilization. Proceedings of international workshop, Canberra, Australia, 17-21 august 1981*, 286 p., pp. 138-157.

ANNEXES

- I : METHODES D'ANALYSES DES SOLS
- II : DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DES SOLS
- III: RESULTATS D'ANALYSE
- IV : RESULTATS DES ESSAIS DE REBOISEMENT

ANNEXE 1: METHODES D'ANALYSES DES SOLS

Les échantillons prélevés des profils types ont été analysés au laboratoire de l'ORSTOM¹ (Dakar), de l'ISRA/Bambey² et au laboratoire du Département de la Science du Sol et de Géologie de l'Université Agricole de Wageningen. Les analyses ont porté sur les paramètres physiques et chimiques.

1.1 Analyses physiques

1.1.1 Granulométrie totale

Elle a été déterminée à partir de 20 g de terre fine (<2 mm), par la méthode dite "Pipette de Robinson" et porte sur les fractions suivantes:

- Sables grossiers: 2000 à 200 μm de diamètre;
- Sables fins: 200 à 50 μm de diamètre;
- Limons grossiers: 50 à 20 μm de diamètre;
- Limons fins: 20 à 2 μm de diamètre;
- Argiles: diamètre inférieur à 2 μm .

Réactifs:

- 50 ml d'eau oxygénée (pour détruire la matière organique)
- 25 ml de pyrophosphate de sodium à 52 g/l (pour disperser): à ajouter 14 à 16 h après le premier réactif).

Procédé:

Après attaque et dispersion, l'échantillon est mis dans une allonge de 1 l d'eau déminéralisée. Le prélèvement se fait à l'aide de la pipette de Robinson (20 ml) à une température de 25°C, après agitation et repos de l'échantillon, au bout de 4 mn 14 secondes et de 7 h 6 mn. Le premier prélèvement comprend les argiles et limons et le dernier, seulement des argiles. Les différentes fractions sont calculées par différence et exprimées en pourcent.

1.1.2 Granulométrie des sables

Les fractions comprises entre 50 et 2000 μm , ont été déterminées par la méthode des tamis (C. Paycheng, 1980): 2000, 1600, 1250, 1000, 800, 630, 500, 400, 315, 250, 200, 160, 125, 100, 80, 63 et 50 microns.

On utilise les mêmes réactifs que précédemment. Les différentes fractions sont déterminées à l'aide de tamis superposés.

1.1.3 Réserves hydriques

Les réserves hydriques théoriques du sol ont été estimées à l'aide de l'extracteur à plaques de porcelaine de SOIL MOISTURE. Le principe est basé sur l'application d'une pression donnée sur un échantillon de sol tamisé à 2 mm et saturé d'eau. Deux pressions ont été appliquées, 16 kg et 1 kg correspondant respectivement à des pF 4,2 et pF 3,0. L'humidité de

¹ Office de Recherches Scientifiques et Techniques Outre-mer, devenue Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération.

² Institut Sénégalais de Recherches Agricoles.

l'échantillon est calculée par différence entre le poids après application de la pression et celui après séchage à 105°C. Les réserves utiles sont calculées par différence des humidités pF 3,0 - pF 4.2.

1.2 Analyses chimiques

Elles portent sur le pH, la matière organique, la salinité, le dosage des éléments majeurs des sels solubles, l'acidité et la géochimie.

1.2.1 pH

Les pH des sols ont été mesurés sur des suspensions réalisées avec de l'eau déminéralisée et de KCl N dans un rapport de 1/2,5. Dans le cas des sols potentiellement sulfatés acides, les pH ont été également mesurés in situ en enfonçant directement l'électrode pH dans le sol. Ils ont été aussi mesurés sur les extraits des sels solubles.

Les pH des eaux de nappes et de surface ont été également mesurés in situ et au laboratoire.

1.2.2 Matière organique

Le carbone total a été dosé au carmographe sur un échantillon de sol broyé à 200 µm, après calcination à 1000°C (Paycheng, 1980).

L'azote total est dosé par colorimétrie après minéralisation par la méthode Kjeldahl d'un échantillon de 0,5 g de sol tamisé et broyé à 200 µm (Paycheng, 1980). Les réactifs sont: 5 ml d' H_2SO_4 (d = 1,84) p.a., 200 g de K_2SO_4 , 10 g de sélénium.

1.2.3 Salinité et sels solubles

La salinité du sol et les éléments majeurs des sels solubles ont été mesurée et dosés, respectivement, dans des extraits dilués dans un rapport de 1/5: une part de sol tamisé à 2 mm pour 5 parts d'eau déminéralisée.

Les éléments majeurs dosés dans la solution filtrée de l'extrait 1/5 concernent: Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ et Na^+ .

Les chlorures ont été dosés par colorimétrie au thiocyanate mercurique à l'aide de l'autoanalyseur Technicon, après ajout d'acide acétique et acide nitrique concentré.

Les sulfates ont été dosés par néphélométrie à l'aide du spectrophotomètre "Jean et Constant", après précipitation au chlorure de barium à 10% (BaCl_2) et ajout dans la solution de HCl concentré 1/50, et de solution à 1% de gomme arabique (Paycheng, 1980).

Les carbonates et les bicarbonates sont dosés par acidimétrie à l'aide du pH-mètre, après précipitation par HCl (1/100).

Le calcium et le magnésium sont dosés par absorption atomique, et le potassium et le sodium par émission de flamme (Paycheng, 1980).

1.3 Capacité d'échange cationique et éléments échangeables

La capacité d'échange cationique (T) est déterminée en saturant le sol avec Ca^{2+} , puis en déplaçant par percolation celui-ci par K^+ . Elle est exprimée en meq/100 g sol (Paycheng, 1980). Les réactifs utilisés sont: CaCl_2 N/10 tamponné à pH = 7, Acide acétique p.a., KNO_3 , NaOH pur.

Le calcium (Ca^{2+}) est dosé par complexométrie et le chlorure (Cl^-) (correspondant à la quantité de calcium non fixé) par colorimétrie au Technicon.

Les bases échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) sont déplacés par percolation à l'aide d'Acétate d'ammonium à $\text{pH} = 7$, après plusieurs lavages à l'eau déminéralisée pour éliminer les sels solubles. Ils sont dosés de la même manière que précédemment (1.2.3). Les réactifs utilisés sont: Acétate d'ammonium ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) et Acide acétique.

L'aluminium échangeable est dosé dans la solution filtrée de sol de l'extrait de KCl N , par le violet de Pyrocatechol en milieu légèrement acide. Les réactifs utilisés sont: KCl N , Violet de pyrocatechol 0,01%, orthophénantroline 0,05%, chlorydrate d'hydroxylamine 5%, Acétate de sodium à $\text{pH} = 5,7$.

1.4 Analyse chimique totale

La composition géochimique a été analysée sur certains échantillons, après dissolution des minéraux par attaque triacide ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HNO}_3 + \text{HCl}$). La perte au feu est calculée par pesage après calcination de l'échantillon dans un four à 1000°C .

Les éléments totaux oxydes ci-après sont dosés dans la solution filtrée (Paycheng, 1980).

La silice (SiO_2), est calculée par différence de poids à partir de la fraction insoluble, après calcination à 1000°C dans le four à moufle.

L'aluminium (Al_2O_3), le fer (Fe_2O_3) et le titane (TiO_2) sont dosés dans la solution par colorimétrie au Technicon, à l'aide, respectivement de l'ériochromocyanine, l'orthophénantroline et l'eau oxygénée.

Le manganèse (MnO_2), le calcium (CaO) et le magnésium (MgO) sont dosés par absorption atomique à l'aide de solution de lanthane.

Le potassium (K_2O) et le sodium (Na_2O) sont dosés par émission de flamme.

Le fer libre a également été dosé après extraction par la méthode Endredy à l'aide du réactif de Tamm: Acide oxalique ($\text{C}_2\text{O}_4\text{H}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) et oxalate d'ammonium ($(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

Le soufre total est dosé, après calcination à 1300°C de l'échantillon de sol, par la méthode du sulmograph dans un courant d'oxygène et en présence de $\text{H}_2\text{SO}_4\text{N}/10$ (Paycheng, 1980).

1.5 Minéralogie

La détermination des minéraux argileux et des sels cristallisés a été réalisée par diffraction des rayons X, au laboratoire de Wageningen. Les argiles ont été déterminées sur la fraction inférieure à $2 \mu\text{m}$, sur échantillons saturés Mg^{2+} et traités au glycérol.

Les sels cristallisés ont été déterminés sur des croutes de sels prélevés de la surface du sol et sur la fraction du sol tamisé à 2 mm , par diffraction de rayons X à l'aide de "Nonius Guinier Camera FR 552" avec le monochromateur Johanson à haut coefficient de résolution $\text{K}\alpha_1$, utilisant $\text{CoK}\alpha_1$ comme source de radiation ($\lambda = 0.17889$).

1.6 Acidité potentielle et actuelle des sols (Konsten et al., 1986)

La méthode consiste à titrer, à l'aide de NaOH $0,50 \text{ mol/l}$, l'acidité potentielle et l'acidité actuelle des sols sur des suspensions d'échan-

tillons frais ou lyophyllisés, réalisées avec NaCl 1 mol/l dans un rapport de 1/5.

Concernant les sols potentiellement sulfatés acides, l'acidité potentielle est obtenue après oxydation de la pyrite à l'eau oxygénée.

La titration se fait à l'aide de pH-mètre jusqu'à un pH 5,5.

L'acidité à pH 5,5 est calculée à partir de la courbe de titration (quantité de NaOH et pH correspondant).

Les réactifs utilisés sont pour:

- Acidité potentielle: H_2O_2 à 30%, NaOH 0,50 mol/l, NaCl 1 mol/l.
- Acidité actuelle: NaOH 0,50 mol/l, NaCl 1 mol/l.

ANNEXE II: DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DES SOLS

Horizons

- A: Horizon organo-minéral formé dans la partie supérieure du profil.
 - B: Horizon minéral montrant des propriétés de diagnostique, caractérisé par l'accumulation ou la perte de produits de silicates d'argiles, sesquioxydes de fer, d'humus, de produits d'altération.
 - C: Horizon formé par l'accumulation de produits peu différents du matériau originel.
-
- r: taches de fer réduit (gley).
 - g: présence de taches d'oxydo-réduction du fer.
 - go: taches jaunes ou brun-olives.
 - j: présence de jarosite.
 - jo: présence de jarosite hydrolysée ou oxydée.
 - y: accumulation de sels en surface.
 - e: appauvrissement en éléments.
 - z: accumulation de sels en surface.
 - k: accumulation de carbonates de calcium.
 - c: accumulation de concrétions ferriques ou ferro-manganiques.
 - co: accumulation de coquilles d'huitres.
 - h: tourbeux.

2.1 Sols salés sulfatés (salisols sulfatés)

2.1.1 Salisols sulfatés peu salés

Profil Z1 P 21: identique à Z3.P72, ER.P1, ER.P2, S2.P1 et Z2.P52

1. Type de sol: Salisol sulfaté, peu salé, à nappe profonde, sur matériaux homogènes d'ensemble sableux.

Date: 25/11/1987

Localisation: Situé à l'intérieur de la forêt de Wélor à environ 1 km au N.E. de Keur Mandao.

2. Environnement: Terrasses hautes à topographie variable.
Zone de forêt dégradée d'Acacia seyal, mélangé à Ximenia americana, à tapis herbacé composé de Cassia tora, Borreria verticillata et de graminées.

3. Description du profil:

<u>0-10 cm</u> :	Horizon sec, gris (10YR 5/1) sans taches. Texture sableuse, structure à débits polyédriques fins, consistance friable.
A	Nombreuses radicelles, quelques galeries biologiques. Transition graduelle.
<u>10-25 cm</u> :	Horizon sec, brun-jaunâtre (10YR 5/4), présence de nombreuses taches distinctes ocre-rougeâtres (5YR 6/6). Texture sableuse, structure à débits polyédriques moyens peu friables. Présence de nombreuses racines fines et moyennes, et de croutes calcaires. Transition nette.
ABg	
<u>25-80 cm</u> :	Horizon frais, brun-jaunâtre clair (10YR 6/4), nombreuses taches ocre-rougeâtres (5YR 6/6). Texture sableuse, structure à débits polyédriques moyens à grossiers, peu friable. Poreux, nombreuses racines moyennes. Transition graduelle.
Bg	
<u>80-110 cm</u> :	Horizon frais, brun-grisâtre (10YR 5/2), nombreuses taches rouges, traces de racines ferruginisées. Texture sableuse plus argileuse que dans le précédent, structure à débits polyédriques moyens. Porosité racinaire et interstitielle, quelques racines moyennes et fines.
BCg	

Profil SS.15: identique à S2.P10

1. Type de sol: Salisol sulfaté, peu salé, sur matériaux homogènes d'ensemble fins.

Date: 05/1985

Localisation: Situé dans l'ilôt de Ngan, à 100 m du Saloum, au pied d'un Acacia Seyal.

2. Environnement: Terrasses hautes à surface plane.
Zone de forêt d'Acacia seyal dense en mélange avec Acacia nilotica et Mitragyna inermis. Le sol est entièrement couvert (100%) de graminées.

3. Description du profil:

- 0-13 cm: Horizon sec, humifère avec de la litière en surface, brun-grisâtre foncé (10YR 4/2), taches ocres diffuses.
 A Texture argilo-limoneuse, structure prismatique à polyédrique moyenne avec de nombreuses fentes de retrait larges sur tout l'horizon, très compacte. Porosité moyenne à faible, Racines de graminées et d'Acacia. Limite peu régulière, Transition progressive.
- 13-49/60 cm: Horizon frais, brun-grisâtre foncé (10YR 4/2), taches ocre-rouilles (10YR 4/4) plus nettes. Texture argilo-limoneuse, structure prismatique à polyédrique moyenne très compacte avec des fentes de retrait assez larges verticales, présence de cristaux blanchâtres (carbonate de calcium) dans les parois des fentes et de concrétions noires (10YR 4/1) ferromanganiques. Porosité faible, Racines d'Acacia seyal, présence de glosses pénétrant sur environ 11 cm dans l'horizon sous-jacent, limite très ondulée. Transition nette.
- 49/60-100 cm: Horizon frais à humide, gris-beige (2,5Y 7/2) à tendance peu lessivé, taches brun-olives (2,5Y 4/4) occupant environ 40% de la matrice et des taches gris-noires (10YR 4/1). Texture argileuse plus limoneuse, Structure polyédrique moyenne, peu compacte à tendance grumeleuse, Porosité bonne à moyenne, racines d'Acacia, limite peu régulière. Transition progressive.
- 100-143 cm: Horizon humide, gris-beige (2,5Y 7/2), taches ocre-jaunes (10YR 6/6) nombreuses, jaune-olives (2,5Y 6/6), grises (10YR 5/1) et des trainées gris-noires (10YR 4/1) nombreuses orientées verticalement sur tout l'horizon. Texture argilo-limoneuse, structure peu développée à consistance peu dure, porosité très faible.
- Bg
- BgoCr

Profil SS.40: identique à Z2.P66, APB.P1, APB.2 et APB.3

1. Type de sol: Salisol sulfaté, peu salé, sur matériaux complexes limoneux sur sableux.

Date: 05/1985

Localisation: Situé dans la forêt d'Acacia seyal, à 200 m du Saloum, dans l'ilôt de Ngan, au pied d'un Acacia.

2. Environnement: Terrasses hautes enclavées par les tannes sursalés. Zones de forêts d'Acacia seyal mélangé à Balanites aegyptiaca et Acacia macrostachya, engorgées d'eau pendant l'hivernage.

3. Description du profil:

- 0-5 cm: Horizon d'apports éoliens couvert de graminées, couleur gris-beige (10YR 7/2). Texture limoneuse, structure feuilletée, fragile. Porosité très bonne. Limite régulière. Transitions nette.
- A11

- 5-20 cm: Horizon frais, humifère, gris-brun foncé (10YR 4/2), taches ocres diffuses. Texture limono-argileuse peu sableuse, structure prismatique à polyédrique moyenne avec fentes de retrait, très compacte. Porosité moyenne à faible, racines. Transition progressive.
- A12
- 20-40 cm: Horizon très frais, brun-grisâtre (10YR 5/2), taches ocre rouges (5YR 4/8) et ocre-jaunes (10YR 5/8). Texture limono-argileuse peu sableuse, structure polyédrique fine, compacte. Porosité faible, racines. Transition progressive.
- Bjo
- 40-70 cm: Horizon humide, gris-olive (2,5Y 6/2), nombreuses taches brun-olives (2,5Y 4/4), jaune-olives (2,5Y 6/6) vers le bas, ocre-rouilles (10YR 4/8) et gris-claires (10YR 6/1), avec présence de quelques débris coquilliers très altérés. Texture limono-argileuse, structure polyédrique fine, compacte. Porosité faible avec quelques racines dans la partie supérieure. Limite régulière. Transition nette.
- Bgo
- 70-130 cm: Horizon humide, gris-beige (10YR 7/2), nombreuses taches ocre-jaune (10YR 5/6), quelques taches noires (10YR 2/1) et rouilles (10YR 3/2) dans les chenaux racinaires. Texture sablo-argileuse, structure polyédrique fine à tendance cimentée, limite régulière. Transition progressive.
- Bj
- 130-150 cm: Horizon plus humide, gris-claires (10YR 6/1), nombreuses taches jaunâtres (10YR 6/8), localisées verticalement dans les chenaux racinaires. Texture sablo-argileuse, structure polyédrique fine. Porosité moyenne (macroporosité structurale dominante).
- BjC

Profil SS.23: identique à SS.6, SS.81, S2.P15 et S2.P16

1. Type de sol: Salisol sulfaté, peu salé, sur matériaux coquilliers superficiels. (SS.6, SS.23 et SS.81) ou profond (S2.P15 et S2.P16).

Date: 05/1985

Localisation: Situé dans la forêt d'Acacia seyal, au pied d'un Acacia.

2. Environnement: Terrasses hautes.

Zone de forêt d'Acacia seyal et Acacia nilotica, avec présence de baobabs. Le sol est entièrement (100%) couvert par les plantes herbacées et la litière.

4. Description du profil:

- 0-22 cm: Horizon sec, humifère, recouvert de litière d'Acacia seyal, brun-ocre (10YR 4/6), taches ocre-rouilles (10YR 4/4) diffuses. Texture limono-argileuse, structure prismatique à polyédrique moyenne, présence de fentes de retrait verticales traversant tout l'horizon. Porosité bonne, racines fines et moyennes ($\emptyset = 1-2$ cm). Limite régulière. Transition nette.
- A
- 22-50 cm: Horizon frais, peu humifère, brun-grisâtre (10YR 5/2), taches ocre-rouilles (10YR 4/4) et ocre-jaunes (10YR 5/6) peu nombreuses. Texture argilo-limoneuse, structure polyédrique fine, compacte avec petites fentes de retrait.
- Bg

- Porosité faible, racines d'Acacia. Limite régulière. Transition nette.
- 50-80 cm: Horizon constitué de débris coquilliers (huitres) altérés (60%) mélangés à la terre fine argileuse de couleur gris-olive (2,5Y 5/2) avec de nombreuses taches brun-olives (2,5Y 4/4), ocres (10YR 6/6) et jaunâtres (10YR 8/6). Transition progressive.
- Bgo.co
- 80-100 cm: Horizon constitué de débris coquilliers (huitres) entiers et très peu altérés, mélangés à la terre fine argileuse (20-30%) de couleur gris-olive (2,5Y 4/2) avec des taches ocres (10YR 6/6) et brun-olives (10YR 4/4).
- Cco

2.1.2 Salisols sulfatés sursalés

Profil SS.16

1. Type de sol: Salisol sulfaté, sursalé, à nappe peu profonde, sur matériaux homogènes d'ensemble fins.

Date: 05/1985

Localisation: Situé sur une zone dégradée à la limite de la forêt d'Acacia seyal.

2. Environnement: Terrasses hautes à topographie plane.

Zones anciennement occupées par une forêt de Mitragyna inermis et Acacia spp., dégradée. Elles bordent les tannes localement couverts. La surface du sol est recouverte par endroit de fine pellicule de bat-tance, limoneuse.

3. Description du profil:

- 0-3 cm: Horizon sec d'accumulation de sels brun-grisâtre clair (10YR 5/2). Texture argileuse, structure feuilletée.
- Az Transition progressive.
- 3-10 cm: Horizon sec, brun-grisâtre (10YR 4/2), taches ocre-rouilles (10YR 4/4) diffuses. Texture argilo-limoneuse, structure prismatique à polyédrique moyenne, présence de fentes de retrait verticales et horizontales. Porosité bonne à moyenne, limite peu régulière. Transition progressive.
- Ag
- 10-26/34 cm: Horizon frais, gris-noir (10YR 4/1), taches gris-brunes (10YR 6/2), présence de traces de racines oxydées ocres (10YR 4/6). Texture limono-argileuse, structure polyédrique moyenne, compacte avec fentes de retrait. Porosité faible. Limite très ondulée avec présence de glosses sur environ 8 cm dans l'horizon sous-jacent. Transition progressive.
- ABg
- 26/34-100/102 cm: Horizon humide, gris-brun (2,5Y 6/2) avec de nombreuses concrétions ferro-manganiques noires (10YR 4/1) des traînées noires (10YR 3/2) de racines oxydées orientées verticalement très nombreuses vers la partie inférieure, taches gris-claires (10YR 7/1). Texture argilo-limoneuse, Structure polyédrique moyenne à fine, à tendance fondue, consistance fragile. Porosité moyenne, limite peu régulière. Transition progressive.
- Bgc

100/102-104 cm: Horizon humide, gris-brun clair (2,5Y 7/2) taches ocres-rouges (5YR 5/8), taches vert-olives (5Y 4/6) orientées verticalement dans les chenaux racinaires. Texture argilo-limoneuse, structure peu développée à tendance polyédrique fine, consistance peu dure. Porosité saturée.

Cr

Profil SS.1

1. Type de sol: Salisol sulfaté, sursalé, à nappe superficielle sur matériaux coquilliers.

Date: 05/1985

Localisation: à 5 km du Saloum, sur levées sableuses.

2. Environnement: Levées sableuses au bord du Saloum. Micro-dunes sableuses d'apports éoliens, anciennement colonisées par une végétation forestière constituée d'Acacia seyal et qui a disparu à cause de la forte salinité. Elles reposent sur des amas coquilliers. La surface est totalement nue avec des croutes de sels de couleur brun grisâtre.

3. Description du profil:

0-3 cm: Horizon sec, constitué de sables limoneux d'apports éoliens, surmontés d'une croute de sels, gris-beige (2,5Y 7/2), structure en croute en surface et particulière en dessous. Limite faiblement ondulée. Transition nette.

Az

3-9 cm: Horizon frais, gris-noir (10YR 4/1), taches ocre-rouilles (10YR 4/4) diffuses. Texture limoneuse, structure massive à tendance polyédrique très fine, limite faiblement ondulée. Transition nette.

Ag

9-38 cm: Horizon très frais, brun-grisâtre (10YR 5/2), taches ocre-rouilles (10YR 4/4) nettes. Texture limoneuse, structure massive à polyédrique fine. Porosité bonne, racines mortes de graminées et d'arbustes. Transition progressive.

ABg

38-50/57 cm: Horizon plus frais, brun-jaunâtre (10YR 5/6), taches ocre-rouilles (10YR 4/4). Texture argilo-limoneuse, structure polyédrique fine. Porosité bonne, pas de racines, limite très ondulée. Transition nette.

Bg

50/57-75 cm: Horizon humide, brun-beige (10YR 5/3), taches ocre-jaunes (10YR 5/6), constitué d'amas coquilliers (coquillages et huitres) altérés mélangés à la terre fine argileuse. Transition progressive.

Bgco

75-96 cm: Horizon très humide, constitué de débris de coquilles d'huitres altérées, mélangés à la terre fine argileuse plus abondante (60%) de couleur brun-olive (2,5Y 4/2), tachée ocre-rouille (5YR 4/6) et ocre (7,5YR 5/6). Transition progressive.

Bgoco

96-123 cm: Horizon mouillé, constitué de débris de coquilles d'huitres peu altérées et entières mais moins abondantes (25-30%), mélangés à l'argile de couleur brun-olive (2,5Y 4/4). Structure polyédrique fine. Porosité saturée. Présence d'une nappe hypersalée.

Cco

2.2 Sols potentiellement sulfatés acides

Profil S1 P13: identique à S2.P22

1. Type de sol: Thiosol, sulfurique, sursalé, à horizons tourbeux, sur matériaux limoneux.

Date: 11/1986

Localisation: Face au Saloum sur tanne nu.

2. Environnement: Tannes vasières sursalés.
Croute de sel en surface, de couleur blanchâtre formant des plaquettes.
3. Description du profil:

<u>0-10 cm</u> :	Horizon humide, de couleur gris-olive (5Y 5/2) avec des taches ocre-rouilles (10YR 4/4) sur tout l'horizon. Texture argilo-sableuse, structure polyédrique moyenne, porosité saturée. Transition continue.
Ago	
<u>10-30 cm</u> :	Horizon humide de même couleur, peu de taches ocre-rouilles, quelques taches jaune-ocres (10YR 5/8); dépôts limoneuses dans les fentes. Texture argileuse peu sableuse. Porosité saturée. Transition progressive.
Bjo	
<u>30-47 cm</u> :	Horizon humide, gris-olive plus clair (5Y 6/8) avec des taches ocre-rouilles (10YR 4/4) de forme tubulaire (racines décomposées) à orientation verticale et des taches jaunâtres (10YR 5/8). Texture argileuse, structure polyédrique fine. Porosité saturée. Transition nette, limite peu nette.
BCj	
<u>47-63 cm</u> :	Horizon mouillé, tourbeux, gris-noir (10YR 4/1) avec des chevelus racinaires de Rhizophora. Texture argileuse, structure tourbeuse à tendance spongieuse. Transition continue.
C1h	
<u>63-80 cm</u> :	Horizon mouillé, identique au précédent mais contient des racines de Rhizophora pourries non encore décomposées, présence de la nappe à 80 cm. Odeur de sulfures.
C2h	

Profil S2.P24 (sondage à la pelle à vase): identique à S2.P.23

1. Type de sol: Thiosol, typique, sursalé, à horizons tourbeux, sur matériaux argileux.

Date: 11/1988

2. Environnement: Tanne vasière, sursalé.
Anciennes vasières à mangroves sur les bordure du lit du fleuve Saloum, transformées en tanne vasière.
3. Description du profil:

<u>0-5 cm</u> :	Engorgée d'eau, gris-bleuté très foncé. Texture limono-sableuse.
<u>5-10 cm</u> :	Engorgé d'eau, gris bleuté-noir, tourbeux, consistance molle.

- 10-30 cm: Engorgé d'eau, gris-noir, tourbeux avec des racines de Rhizophora, consistance fluide.
- 30-50 cm: Engorgé d'eau, gris-noir, tourbeux, consistance fluide.
- 50-70 cm: Engorgé d'eau, noir, tourbeux, consistance fluide.
- 70-90 cm: Engorgé d'eau, noir, tourbeux avec des fibres racinaires non décomposées, consistance fluide.
- 90-110 cm: Engorgé d'eau, gris-noir, tourbeux avec des fibres racinaires, consistance fluide.
- 110-130 cm: Engorgé d'eau, gris-noir, tourbeux, racines de Rhizophora, consistance moins fluide.

2.3 Sols sulfatés acides à jarosite jeune

Profil SS.65: identique à SS.60, S2.P12 et S2.P21

1. Type de sol: Sulfatosol à jarosite jeune, sursalé, à gypse, sur matériaux complexes limoneux sur sableux.

Date: 05/1985

Localisation: Tanne nu inondable, à 100 m du Saloum.

2. Environnement: Terrasses basses inondables.
Zones sursalées bordant les tannes inondées périodiquement. Tannes nus présentant une fine pellicule saline en surface.

3. Description du profil:

- 0-4 cm: Horizon humide, surmonté d'une fine pellicule (0,5 cm) saline de couleur blanchâtre (10YR 8/2), brun-grisâtre foncé (2,5Y 4/2) en-dessous, taches diffuses (10YR 5/6).
Az Texture sablo-limoneuse, structure à tendance lamellaire. Porosité faible. Transition progressive.
- 4-37 cm: Horizon très humide, brun-olive (2,5Y 4/4), nombreuses taches de jarosite jaune pâle (2,5Y 8/4) localisées verticalement sur tout l'horizon le long des chenaux racinaires. Présence de filons de gypse (5 à 10 cm de long et $\emptyset$ = 2-3 cm). Texture sablo-argileuse, structure non développée à tendance prismatique à consistance de beurre. Transition progressive.
- 37-74 cm: Horizon mouillé, marron (5YR 4/3), nombreuses taches de jarosite jaune pâle (2,5Y 7/4), présence de racines pourries de Rhizophora très nombreuses vers le bas. Texture sablo-limoneuse, structure non développée, à consistance de beurre. Transition progressive.
- 74-113 cm: Horizon mouillé, brun-marron (5YR 4/4), taches de jarosite plus jaunes pâles (2,5Y 8/4), présence de cristaux de gypse et de racines pourries de Rhizophora à odeur de sulfures. Texture sablo-argileuse, structure non développée à consistance de beurre. Transition progressive.
- 113-150 cm: Horizon mouillé, gris-noir (10YR 4/1), taches de jarosite jaune pâle (2,5 Y 8/4). Texture sablo-argileuse, structure non développée à consistance de beurre. Nappe à 150 cm.
- Crj

Profil SS.35

1. Type de sol: Sulfatosol à jarosite jeune, sursalé, modal, sur matériaux limono-argileux.

Date: 05/1985

Localisation: Situé sur terrasse basse.

2. Environnement: Ancien chenal de marée, accessible en hautes eaux. Zones d'accès des eaux salées du marigot pendant l'hivernage, sans végétation, entourant des forêts reliques situées sur les terrasses à coquilles d'huîtres.
3. Description du profil:

<u>0-8 cm</u> :	Horizon sec constitué d'accumulation de sels à structure poudreuse, avec présence de cristaux blanchâtres de sels gris-beiges (10YR 7/2). Très poreux. Transition nette.
Az	
<u>8-20 cm</u> :	Horizon frais à humide, gris-brun (5YR 6/2), nombreuses taches étalées jaunes pâles (10YR 8/4) (jarosite). Texture argilo-limoneuse, structure peu développée à tendance polyédrique fine, consistance peu dure, collante. Transition progressive.
Blj	
<u>20-100 cm</u> :	Horizon mouillé, gris-clair (5YR 7/2) nombreuses taches jaunes pâles (2,5Y 8/4). Texture plus argileuse, structure non développée à consistance de beurre. Racines oxydées (10YR 5/8) de rhizophora.
B2j	

Profil SS.64

1. Type de sol: Sulfatosol à jarosite jeune, sursalé, modal sur matériaux complexes limoneux sur argileux.

Date: 05/1985

Localisation: Zone d'accès des eaux du marigot.

2. Environnement: Ancien chenal de marée transformé en tannes nus. Zones de prolongement des chenaux secondaires des bras du Saloum, inondables pendant l'hivernage par des eaux salées. La surface du sol est localement ouverte de plantes herbacées (graminées et *Phyloxerus* spp.).
3. Description du profil:

<u>0-5 cm</u> :	Horizon sec, constitué d'apports argileux éoliens de couleur gris-beige (10YR 7/2), à structure lamellaire. Porosité très bonne, présence de racines assez nombreuses. Limite régulière. Transition nette.
A	
<u>5-36 cm</u> :	Horizon humide, gris-brun (10YR 5/2), nombreuses taches ocre (10YR 6/6), présence de glosses de couleur brun-noire (10YR 3/2) pénétrant jusqu'au bas de l'horizon. Texture argilo-limoneuse, structure polyédrique moyenne, présence
Bg	

- de fentes verticales de retrait, compacte. Porosité faible. Racines de plantes herbacées. Transition progressive.
- 36-55 cm: Horizon humide, brun-grisâtre (10YR 5/3), nombreuses taches jaunes pâles (10YR 8/4) localisées dans les chenaux racinaires. Texture argileuse peu limoneuse, structure peu développée à tendance prismatique, à consistance molle. Transition progressive.
- B1j
- 55-83 cm: Horizon très humide, brun-grisâtre (10YR 5/3), nombreuses taches jaunes pâles (jarosite)(10YR 8/4) localisées dans les chenaux racinaires. Texture argileuse, structure non développée à consistance de beurre. Transition progressive.
- B2j
- 83-115 cm: Horizon mouillé, marron (7,5YR 4/2), nombreuses taches de jarosite jaune pâle (2,5Y 8/4) localisées verticalement le long des chenaux racinaires. Texture plus argileuse, structure non-développée à consistance molle. Transition progressive.
- BCj
- 115-120 cm: Horizon mouillé, marron (7,5YR 4/2) avec les mêmes taches. Texture argileuse, structure non développée à consistance plus molle. Nappe à 120 cm.
- Cj

2.4 Sols sulfatés acides à jarosite évoluée, à taches jaunâtres

Profil SS.37

1. Type de sol: Sulfatosol à jarosite évoluée, à taches jaunâtres, moyennement salé, sur matériaux complexes limoneux sur sableux.

Date: 05/1985

Localisation: Situé à 200 m du marigot de Ngan, sur tanne herbacé.

2. Environnement: Terrasses moyennes présentant des micro-dunes. Zones de tannes herbacés, recouvertes localement par *Phyloxerus* spp. Elles sont caractérisées par une forte érosion éolienne en nappe avec une accumulation des matériaux limoneux à sableux transportés par les vents.

3. Description du profil:

- 0-10 cm: Horizon sec, couvert en surface par *Phyloxerus vermicularis* avec présence de croûtes de sels gris-brun (10YR 6/2) et jaune-beige foncé (10YR 5/4) à taches ocre-rouges (5YR 6/6) en dessous. Texture sablo-argileuse, structure feuilletée et fragile dans les 3 premiers centimètres (croûte saline) et prismatique à polyédrique moyenne en bas, à consistance très compacte avec des fentes de retrait verticales. Porosité bonne, nombreuses racines. Limite régulière. Transition progressive.
- Az
- 10-37 cm: Horizon très frais à peu humide, brun-grisâtre (10YR 5/2) taches jaune-ocres (10YR 5/8) et jaunes peu pâles (10YR 8/6) dans la partie inférieure. Texture sablo-argileuse. Structure massive peu dure, collante. Porosité très faible. Transition progressive.
- Bjo

- 37-61 cm: Horizon humide, grisâtre (10YR 6/2), taches jaunes peu pâles (jarosite) (10YR 8/6), présence d'inclusions sableuses de couleur blanc-beige (10YR 8/2) sur tout l'horizon. Texture argilo-sableuse. Structure massive à consistance peu dure à molle. Transition progressive.
- Bjo
- 61-73 cm: Horizon humide, grisâtre (10YR 6/2), mêmes taches, présence de nombreuses poches de sables délavés de couleur jaunâtre (10YR 6/8). Texture sablo-limoneuse. Structure massive à consistance molle. Transition progressive.
- Bejo
- 73-92 cm: Horizon très humide, gris-clair (10YR 6/1), nombreuses taches jaunâtres (10YR 6/8) et gris-beige (10YR 7/2). Texture sableuse peu limoneuse. Structure non développée massive à consistance molle. Transition progressive.
- Bjo
- 92-110 cm: Horizon mouillé, gris plus clair (10YR 7/1), nombreuses taches jaunâtres (10YR 6/8) et jaunes pâles (10YR 8/4) (jarosite). Texture sableuse peu limoneuse. Structure non développée massive, à consistance molle.
- Bj

Profil S2.P7: identique à S2.P6, SS.2, SS.3

1. Type de sol: Sulfatosol à jarosite évoluée, à taches jaunâtres, sur-salé, sur matériaux, limono-sableux.

Date: 11/1986

2. Environnement: Terrasses basses à plan incliné.
Zone de tanne nu inondable. La surface du sol présente une couche de sels plus ou moins épaisse de couleur brune.

3. Description du profil:

- 0-7 cm: Horizon frais, gris-brun (10YR 5/2) avec des taches grises (10YR 3/1). Texture sablo-argileuse, structure peu développée, consistance friable. Porosité bonne avec une macroporosité capillaire (évaporation). Limite nette. Transition nette.
- Ag
- 7-20 cm: Horizon frais à humide gris-beige (10YR 7/2) avec de nombreuses taches jaunâtres (10YR 6/8) et ocre-rouilles (7,5YR 5/4) très nombreuses. Texture sableuse peu limoneuse, structure massive. Porosité très élevée. Les taches rouilles sont sous forme de veines verticales. Limite ondulée. Transition nette.
- Bjo
- 20-30 cm: Horizon humide, gris-beige (10YR 7/2) avec des taches ocres (7,5YR 5/6) et jaunâtres (10YR 6/8) et quelques veines ocre-rouilles (7,5YR 5/4). Texture sableuse plus argileuse que le précédent, structure à tendance polyédrique. Limite ondulée (5 cm).
- Bgjo
- 30-45/50 cm: Horizon humide, gris-noir (10YR 4/1) avec des poches jaunes-beiges (10YR 5/4) et des taches rouges (2,5YR 5/8) orientées verticalement dans le chenaux racinaires. Texture argileuse, peu sableuse, structure peu développée, à consistance molle. Limite ondulée (5 cm). Transition progressive.
- Bjo

- 45/50-70 cm: Horizon mouillé, gris-noir (10YR 3/1) avec des poches de sables jaune-beige, des taches jaunes pâles (jarosite)
 B1j (10YR 8/4) orientées verticalement (1 à 2 cm de large). Texture argileuse, structure non-développée à consistance de molle. Porosité saturée. Transition progressive.
- 70-95 cm: Horizon mouillé identique au précédent, dont il diffère seulement par l'absence de poches de sables et par une consistance plus dure malgré la présence de nappes.
 B2j

2.5 Sols sulfatés acides à jarosite évoluée, à taches ocre-rougeâtres

Profil S2.P4: identique à Z1.P49; Z2.P1

1. Type de sol: Sulfatosol à jarosite évoluée, à taches ocre-rougeâtres, peu salé, sur matériaux sableux.

Date: 11/1986

2. Environnement: Terrasse moyenne à topographie inclinée NS. Zone de tanne nu, enclavé par les tannes herbeux. La surface du sol est caractérisée par une accumulation de croutes de sels à structure poudreuse de couleur blanchâtre et brune, et par la présence par endroits de *Phyloxerus vermicularis*.

3. Description du profil:

- 0-4 cm: Horizon sec à frais, gris-beige à jaune clair, avec des taches ocres diffuses, surmonté d'une fine couche blanchâtre de sels. Texture sableuse peu limoneuse, structure massive à tendance particulière. Porosité très bonne, présence de racines de *Phyloxerus* spp. Limite et transition nettes.
 Az
- 4-11 cm: Horizon frais, gris-noir, avec quelques taches ocres diffuses vers la partie inférieure, devenant gris-beige vers le bas. Texture sableuse peu limoneuse, structure massive à éclats fins. Porosité bonne, présence de racines de *Phyloxerus*. Transition progressive.
 Ag
- 11-22 cm: Horizon frais, gris-brun avec des taches jaunâtres (10YR 6/8) et roses (7,5 YR 6/2) devenant moins nombreuses et peu nettes vers le bas. Texture sableuse plus limoneuse, structure polyédrique à tendance massive. Porosité bonne, présence de racines mortes de *Phyloxerus* spp. Transition progressive.
 B1jo
- 22-50 cm: Horizon gris-rouge-violacé avec de nombreuses taches étalées jaunâtres (10YR 7/8), rouges et ocre-rougeâtres. Texture plus limoneuse, structure polyédrique fine à tendance massive, consistance molle. Porosité saturée. Transition progressive.
 B2jo
- 50-87 cm: Horizon humide, de même couleur que le précédent mais contient moins de taches rouges, et beaucoup de taches violacées. Texture plus argileuse, structure massive faiblement polyédrique, consistance plus molle que dans le précédent. Porosité saturée. Transition progressive.
 B3jo

- 87-108 cm: Horizon humide, gris-beige avec des taches jaunâtres et ocre, de grosses taches rouge-vif orientées verticalement le long des chenaux racinaires. Texture plus argileuse, structure massive, consistance plus molle que dans le précédent horizon. Limite irrégulière. Transition nette.
- BCjo
- 108-140 cm: Horizon plus humide à mouillé, gris-beige avec des petites taches jaunâtres et jaunes pâles (10YR 8/4). Texture argileuse, structure massive à consistance molle.
- Cjo.j

Profil SS.24: identique à ER.P5

1. Type de sol: Sulfatosol à jarosite évoluée, à taches ocre-rougeâtres, moyennement salé, sur matériaux complexes limoneux sur argileux.

Date: 05/1985

Localisation: Zone de tanne localement couvert de végétation, au pied de Mitragyna inermis.

2. Environnement:
Zone de terrasses basses de forêts dégradées situées à la limite des tannes localement couverts et constituées essentiellement par Mitragyna inermis. Le sol est couvert à environ 60-70% avec des croutes de sels en surface dans les endroits nus.

3. Description du profil:

- 0-20 cm: Horizon sec à frais, humifère avec litière de Mitragyna inermis en surface, gris-brun (10YR 5/2), nombreuses petites taches ocre (10YR 5/6). Texture limono-argileuse, structure polyédrique fine très compacte avec des fentes de retrait verticales. Porosité bonne. Limite régulière. Transition progressive.
- Ag
- 20-50 cm: Horizon plus frais, gris-brun (10YR 5/2), nombreuses taches ocre (10YR 5/6) plus larges. Texture limono-argileuse, structure polyédrique, consistance très compacte. Porosité moyenne à faible, limite régulière. Transition progressive.
- Bg
- 50-63 cm: Horizon très frais, jaune-beige (10YR 5/4), taches rouges (10R 5/8) et ocre (7,5YR 5/6) sur tout l'horizon. Texture moins argileuse, structure polyédrique moyenne. Porosité bonne à moyenne, compacte. Limite régulière. Transition progressive.
- Bjo
- 63-90 cm: Horizon humide, gris-brun (10YR 5/2), taches ocre (7,5YR 5/6) peu nettes, taches ocre-rouilles (10YR 4/4), présence de quelques concrétions ferrugineuses. Texture argileuse peu limoneuse. Structure peu développée, consistance molle. Transition progressive.
- Bjo.c
- 90-135 cm: Horizon mouillé, grisâtre (10YR 6/1), nombreuses taches jaunâtres (10YR 7/8) localisées verticalement dans les chenaux racinaires. Texture moins argileuse. Structure non développée à consistance molle. Porosité saturée.
- BCj

Profil S2.P20: identique à S2.P11 et ER.P4

1. Type de sol: Sulfatosol, à jarosite évoluée, à taches ocre-rougeâtres, moyennement salé, sur matériaux limono-sableux.

Date: 11/1986

2. Environnement: Terrasses moyennes inondée en hivernage.
Tanne localement couvert de végétation herbacée de *Phyloxerus vermicularis*, *Ctenium elegans* et *Borreria verticillata*.

3. Description du profil:

0-9 cm: Horizon sec, gris-beige (10YR 6/3) avec des taches ocres diffuse. Texture limoneuse, structure lamellaire, compacte.
A Porosité bonne avec une macroporosité biologique, présence de racines vivantes et mortes de graminées de *Phyloxerus portulacastrum*. Limite et transition nettes.

9-15/20 cm: Horizon sec à frais, gris (10YR 5/1) avec des taches ocre-rouges (2,5YR 5/4) et des taches rouilles (5YR 3/4). Texture argileuse, structure polyédrique, compacte. Porosité moyenne à faible, présence de racines de graminées et *Phyloxerus* spp. Limite ondulée. Transition nette.
Bg.jo

15/20-48 cm: Horizon frais, gris-brun (10YR 5/2) avec de nombreuses taches ocre-rouges (2,5YR 5/4), rouges (2,5YR 5/6) et oranges (5YR 6/6) dominantes. Texture limoneuse, structure polyédrique très compacte. Porosité moyenne à bonne avec une macroporosité biologique élevée, présence de racines de *Phyloxerus* spp. Limite peu nette. Transition nette.
Bjo

48-70 cm: Horizon de transition, plus frais, gris-brun (10YR 6/2) avec des taches gris-claires (10YR 7/1). Texture argileuse, structure polyédrique peu développée, compacte. Porosité faible, pas de racines. Transition progressive.
Be

70-105 cm: Horizon humide à mouillé vers le bas, brun-marron clair (5YR 5/4) avec de nombreuses petites et grosses taches jaunes peu pâles (10YR 8/6), jaunâtres (10YR 7/6) localisées dans les chenaux racinaires. Texture argileuse, structure non développée à consistance molle. Porosité très faible. Transition progressive.
Bj

105-150 cm: Horizon mouillé vers le bas, brun-marron (5YR 5/4) plus claire, avec de nombreuses taches jaunes pâles (2,5Y 8/6) à orientation verticale et localisées dans les chenaux racinaires. Texture argilo-sableuse, structure non développée, consistance molle. Porosité saturée.
BCj

Profil S2.P5: identique à S2.P9

1. Type de sol: Sulfatosol à jarosite évoluée, à taches ocre-rougeâtres sursalé, sur matériaux argilo-limoneux.

Date: 11/1986

2. Environnement: Terrasses moyennes à plan plus ou moins incliné.
Zone de tanne localement couvert de végétation herbacée composée de

Borreria verticillata accompagnée de quelques touffes de *Phyloxerus vermicularis* et de *Cyperus esculentus* dans les dépressions.

Le profil est situé sur une dépression assez large colonisée par un tapis très dense de *Cyperus esculentus*.

3. Description du profil:

- 0-9 cm: Horizon sec, gris-brun (10YR 6/2) avec des taches ocres diffuses. Texture sablo-limoneuse, structure polyédrique à éclats, très compact. Limite peu nette à ondulée. Transition progressive.
- Az
- 9-18 cm: Horizon sec, brun-beige (10YR 6/3) avec de nombreuses taches ocre-rougeâtres (7,5YR 6/8) et des taches noires sous forme de veines orientées verticalement sur tout l'horizon, présence d'inclusions sableuses lavées gris-beiges dans la partie inférieure. Transition progressive.
- B1jo
- 18-36 cm: Horizon sec à frais, constitué de couches horizontales de sables limoneux à taches jaunâtres (10YR 6/8) et ocre-rougeâtres (7,5YR 6/6). Les bandes sont obliques. Texture sableuse, structure d'ensemble massive à particulaire. La disposition des couches est faite en plan incliné dans le sens de la pente (NS). Il est totalement parcouru par les racines mortes. Transition nette. Limite peu irrégulière.
- B2jo
- 36-46 cm: Horizon humide, gris-marron (7,5YR 3/2), taches jaunâtres (10YR 6/8) assez larges (1-2 cm). Texture argilo-limoneuse, structure non développée. Porosité saturée. Transition nette.
- B3jo
- 46-80 cm: Horizon humide, rose (7,5YR 6/2) avec des taches de jarosite (10YR 8/6) dispersées dans les chenaux racinaires. Texture moins argileuse. Transition continue.
- Bjo.j
- 80-125 cm: Horizon très humide, brun-beige (10YR 7/3) avec des taches (jarosite) jaunes peu pâles (10YR 8/6) verticales. Texture moins argileuse, structure non développée à consistance molle. Transition nette.
- Bj
- 125-145 cm: Horizon très humide, jaune-beige (10YR 5/4) présentant de nombreuses trainées noires (2,5Y 4/6). Texture limoneuse, structure non développée à consistance molle.
- C

Profil SS.57: identique à Z3.P18

1. Type de sol: Sulfatosol à jarosite évoluée, à taches ocre-rougeâtres peu salé, sur matériaux limoneux.

Date: 05/1985

Localisation: Forêt très dégradée de *Combretum glutinosum*. Le profil est situé au pied d'un jeune *Combretum glutinosum*.

2. Environnement: Terrasses hautes à plan incliné. Zone dégradée située en bordure des forêts d'*Acacia* sp. Elle est colonisée par une végétation de *Mitragyna inermis* et *Combretum glutinosum*. On y rencontre beaucoup de souches mortes. La surface du sol est glacée et présente par endroits des plaquettes limoneuses à structure détruite.

3. Description du profil:

- 0-25 cm: Horizon sec, gris-brun (10YR 6/2), taches jaunâtres (10YR 6/6) plus nombreuses vers la partie inférieure.
- A Texture limono-argileuse, structure prismatique à polyédrique avec des fentes de retrait, très compacte; porosité moyenne à faible, racines mortes. Transition progressive.
- 25-60 cm: Horizon sec à frais vers le bas, gris-brun (10YR 7/2) avec de nombreuses taches ocre-jaunes (10YR 5/6) et quelques taches rougeâtres (2,5YR 4/6). Texture limoneuse plus argileuse, structure polyédrique fine, compacte; porosité moyenne à faible, limite peu régulière. Transition nette.
- B1jo
- 60-80 cm: Horizon très frais, gris-brun (10YR 5/2), nombreuses taches ocre-jaunes (10YR 8/6), présence de veines verticales contenant une poudre beige (10YR 8/2). Texture limono-argileuse à sableuse, structure polyédrique moyenne, consistance dure avec quelques fentes de retrait verticales. Porosité faible, limite régulière. Transition nette.
- B2jo
- 80-97/102 cm: Horizon humide, gris-clair (10YR 7/1), nombreuses taches sous forme de veines verticales contenant une poudre beige (10YR 8/2) dans la partie supérieure du profil, taches rouge vif (2,5YR 5/8) localisées dans les chenaux racinaires et traversant tout l'horizon, quelques taches jaunâtres (10YR 8/6). Texture limoneuse plus argileuse, structure massive à tendance peu développée, consistance peu dure à molle. Porosité moyenne, limite très irrégulière. Transition nette.
- B3jo
- 97/102-123/126 cm: Horizon très humide, gris-brun (2,5Y 5/2) avec des taches brun-olives (2,5Y 4/4) diffuses vers le haut et plus nettes vers le bas, sous forme de petites traînées verticales. Texture limono-argileuse, structure peu développée à consistance peu dure. Porosité très faible. Transition progressive.
- BCgo
- 123/126-150 cm: Horizon mouillé, gris-brun (10YR 6/2), taches ocre-rougeâtres (7,5YR 4/6) localisées verticalement dans les chenaux racinaires, quelques taches jaunâtres (10YR 8/8), présence de racines très oxydées. Texture limono-sableuse peu argileuse, structure non développée à consistance molle.
- BCjo

2.6 Sols sulfatés à jarosite évoluée à taches et/ou horizons rhodiques

Profil S2.P14: identique à S2.P19 et SS.59

1. Type de sol: Sulfatosol à jarosite évoluée, à taches rhodiques, moyennement salé, à horizons sulfatés limoneux.

Date: 11/1986

2. Environnement: Bordure de terrasses hautes.
Tanne nu à surface érodée, présentant des plaquettes limoneuses et des souches mortes d'Acacia seyal.
Le profil est situé à la limite nord de la deuxième forêt d'Acacia seyal.

3. Description du profil:

<u>0-7 cm:</u>	Horizon sec, érodé en surface, gris-brun (10YR 6/2), taches jaunâtres (10YR 6/8) et ocre-rouilles (7,5YR 4/4). Texture argileuse peu sableuse, structure polyédrique fine à tendance prismatique, très compacte. Porosité bonne avec une macroporosité importante biologique. Transition est progressive.
Ag	
<u>7-19 cm:</u>	Horizon frais, gris-clair (10YR 7/1), nombreuses petites taches ocre-rouilles (7,5YR 5/4) diffuses. Texture argilo-sableuse, structure polyédrique fine à tendance massive à éclats, cohésion forte à compacte. Porosité bonne. Limite peu nette. Transition nette.
Bg	
<u>19-53 cm:</u>	Horizon plus frais, gris-brun (7,5YR 6/2) avec de nombreuses taches rouges (2,5YR 5/8) diffuses, ocre-rouges (5YR 5/7), et ocre-rougeâtres (7,5YR 6/5) et gris-claires (10YR 7/2). Texture argileuse, structure polyédrique moyenne, cohésion moins forte dans l'horizon précédent. Porosité bonne. Limite et transition peu nettes.
Bgjo	
<u>53-70 cm:</u>	Horizon humide, gris-brun (10YR 6/2) avec des taches ocre-rougeâtres (7,5YR 6/6) plus nombreuses, rouges (2,5YR 5/8) plus nettes que dans le précédent horizon, mais moins nombreuses, gris-beiges (10YR 6/2). Texture argileuse, structure polyédrique à cohésion faible et à tendance détruite. Transition progressive.
Bgjo	
<u>70-100 cm:</u>	Horizon humide, marron (7,5YR 4/2) avec des veines sableuses gris-brunes (10YR 6/2), des taches ocre-rougeâtres (7,5YR 6/6) moins nombreuses. Texture argileuse, structure peu développée, cohésion très molle, consistance très molle. Porosité saturée. Transition progressive.
Bejo	
<u>100-145 cm:</u>	Horizon mouillé, marron (5YR 4/2) avec des taches jaunes pâles (10YR 7/4) localisées dans les chenaux racinaires, racines oxydées, ocre-rouilles (7,5YR 5/6). Texture argileuse, structure non développée à consistance très molle.
BCjo.j	

Profil SS.18: identique à SS.56

1. Type de sol: Sulfatosol à jarosite évoluée, à horizon rhodique, sur-salé, sur matériaux limono-argileux.

Date: 05/1985

Localisation: Tanne nu, sur chenal de marée.

2. Environnement: Terrasses moyennes à plan incliné.
Zone de tannes nus située dans la partie haute des chenaux de marée. Le sol est couvert en surface d'une couche de sels poudreuse épaisse de 8 à 10 cm (moquette).
3. Description du profil:

<u>0-9 cm:</u>	Horizon frais, constitué de limons très salés de couleur gris-brune (2,5Y 6/2) à structure poudreuse à tendance de moquette, très poreux, avec une porosité dominée par une
Az	

- macroporosité due à l'évaporation par remontée capillaire limite peu nette. Transition progressive.
- 9-20 cm: Horizon humide, gris-brun clair (2,5Y 7/2), taches ocres (10YR 4/4) diffuses. Texture argilo-limoneuse, structure polyédrique fine, peu compacte. Porosité faible. Transition progressive.
- Bg
- 20-40 cm: Horizon plus humide, gris-brun (10YR 5/2), taches ocres (10YR 4/4) très nettes, jaunâtres (7,5YR 8/6) très étalées dans tout l'horizon. Texture argilo-limoneuse, structure polyédrique plus fine à tendance massive peu compacte. Porosité faible. Transition progressive.
- Bgjo
- 40-70/72 cm: Horizon plus humide, grisâtre (10YR 5/1), nombreux oxydes de fer rouge-vif (10R 5/8) sur tout l'horizon, pénétrant dans l'horizon sous-jacent sur environ 2 cm, taches brun-jaunâtres (2,5YR 6/4) peu abondantes. Texture plus argileuse, structure polyédrique moyenne présentant de petites fentes de retrait verticales. Porosité faible, limite irrégulière. Transition progressive.
- Bjo
- 70/72-150 cm: Horizon mouillé, gris-brun (10YR 6/2), nombreuses taches jaunes pâles (2,5Y 8/4) localisées le long des chenaux racinaires. Texture limono-argileuse, structure peu développée à tendance massive, consistance peu dure. Porosité saturée. Nappe sursalée et acide à 150 cm.
- BCj

2.7 Sols sulfatés acides à jarosite évoluée à horizons marrons

Profil S2.P13: identique à S2.P17

1. Type de sol: Sulfatosol à jarosite évoluée à taches rouges, sursalé, à horizons marrons sur matériaux sablo-limoneux.

Date: 11/1986

2. Environnement: Terrasse moyenne à topographie inclinée. Tanne nu sursalé à surface couverte de couche de sels, sous forme de croûtes épaisses et de poudre, plages d'érosion éolienne par endroits.
3. Description du profil:

- 0-18 cm: Horizon sec, gris-brun (10YR 6/2), avec des taches rouges (2,5YR 6/6) et ocre-rougeâtres (5YR 5/7) assez nombreuses et étalées. Texture sableuse peu limoneuse à structure massive. Limite peu nette. Transition progressive.
- Azg
- 18-33 cm: Horizon frais à humide, gris-brun (7,5YR 6/2), avec de nombreuses taches ocre-rougeâtres (7,5YR 6/6) et jaunâtres (10YR 5/8), des taches gris-claires (10YR 7/2) et gris-beiges (10YR 8/1). Texture limoneuse, structure polyédrique. Porosité moyenne. Transition progressive.
- Bgjo
- 33-60 cm: Horizon humide, gris-brun (10YR 6/2) de taches ocre-rouges (7,5YR 6/8) localisées verticalement dans les chenaux racinaires et jaunâtres (10YR 7/8). Texture limono-argileuse à structure polyédrique, consistance peu dure. Porosité faible. Transition progressive.
- Bjo

- 60-92 cm: Horizon humide, marron (7,5YR 4/2) avec de nombreuses taches sous forme de réticulum de couleur gris-brune (10YR 7/2). Texture argilo-limoneuse, structure peu développée.
- Bjo
- 92-140 cm: Horizon mouillé, marron (5YR 4/2) avec des taches jaunes pâles (10YR 7/4) localisées dans les chenaux racinaires, racines oxydées ocre rouille (7,5YR 5/6). Texture argilo-limoneuse, structure non développée.
- Bjoj

2.8 Sols sulfatés acides à jarosite évoluée, hydromorphes salés

Profil S2.P18: identique à ER.P3

1. Type de sol: Sulfatosols à jarosite évoluée, hydromorphe salé, à taches ocre-rougeâtres, sur matériaux limono-sableux.

Date: 11/1986

2. Environnement: Terrasse moyenne à topographie plane. Zone dépressionnaire remplie d'eau pendant l'hivernage, colonisée par *Mitragyna inermis* et *Combretum glutinosum*. Située à la limite de la forêt. Le profil est situé au pied d'un *Combretum glutinosum*.

3. Description du profil:

- 0-10 cm: Horizon sec, gris-clair (10YR 6/1) avec des taches ocres diffuses, vers le bas. Texture limono-sableuse, structure polyédrique fine, compacte. Porosité bonne, présence de racines de plantes herbacées. Limite peu nette. Transition nette.
- Ag
- 10-34 cm: Horizon sec à frais gris-rose (7,5YR 6/2) avec des taches ocre-rougeâtres (7,5YR 6/6). Texture argileuse, structure polyédrique, très compacte avec des fentes de retrait verticales. Porosité moyenne, présence de racines de *Mitragyna inermis*. Transition progressive.
- Bg
- 34-50 cm: Horizon plus frais, rose (5YR 6/2) avec des taches ocre-rougeâtres (7,5YR 6/8). Texture argilo-sableuse, structure polyédrique fine, peu développée, consistance peu dure. Porosité faible, présence de racines de *Mitragyna inermis*. Transition progressive.
- Blgjo
- 50-70 cm: Horizon de même couleur que le précédent mais plus taché ocre-rougeâtres et ocres (10YR 4/4). Texture argileuse, structure polyédrique fine, consistance peu dure. Porosité faible. Transition progressive.
- B2gjo
- 70-100 cm: Horizon humide, rose (5YR 7/4) avec des taches ocre-rougeâtres (7,5YR 6/6). Texture argileuse, structure massive. Porosité faible. Transition peu nette.
- Bgjo
- 100-110 cm: Horizon plus humide, gris-clair (10YR 7/1) avec de nombreuses taches jaunes peu pâles (10YR 8/6) et oranges (7,5YR 8/6). Texture argileuse, structure peu développée massive. Porosité saturée.
- BCrj

Profil S2.P3: identique à S2.P2

1. Type de sol: Sulfatosol à jarosite évoluée, hydromorphe salé, sur matériaux d'ensemble sableux.

Date: 11/1986

2. Environnement: Glacis de raccordement.

Zone de bordure de tanne à végétation très dégradée composée de *Combretum glutinosum*, *Borreria verticillata*, *Cassia tora*, *Andropogon gayanus* et *Ctenium elegans*.

Le profil est situé au pied d'un *Combretum*.

3. Description du profil:

<u>0-20 cm</u> :	Horizon sec, humifère (litière et de graminées en surface), couleur gris-brun (10YR 5/2), avec des taches ocres (10YR 4/6) et gris-claires (10YR 7/1). Texture sableuse peu limoneuse, structure grumeleuse dans la partie supérieure et massive à éclats polyédriques. Porosité très bonne, présence de racines de plantes herbacées. Transition progressive.
Ag	
<u>20-37 cm</u> :	Horizon sec à frais, ocre-rougeâtres ((7,5YR 6/6) avec des taches ocres diffuses. Texture sablo-limoneuse, structure polyédrique fine, assez compacte. Porosité bonne avec une macroporosité élevée, présence de racines. Transition progressive.
B	
<u>37-58 cm</u> :	Horizon frais, brun-rougeâtre (5YR 5/4) avec des taches rouges (2,5YR 4/6) plus nombreuses, vers le bas. Texture sablo-limoneuse, structure polyédrique moyenne, compacte. Porosité moyenne, présence de racines de <i>Combretum glutinosum</i> . Transition progressive.
Bgjo	
<u>58-92 cm</u> :	Horizon très frais, ocre-rougeâtre (5YR 5/6) avec des taches rouges (7,5YR 8/8) foncées à orientation verticale, plus étalées que dans l'horizon précédent, et des taches ocres (7,5YR 5/6). Texture sablo-limoneuse, structure polyédrique fine, texture compacte dans la partie supérieure et peu dure vers le bas. Porosité moyenne à faible, présence de petites racines. Limite peu nette. Transition très nette.
Bgjo	
<u>92-120 cm</u> :	Horizon humide, gris-clair (10YR 6/1) avec des taches jaunes peu pâles (10YR 7/4) et jaunes pâles (2,5Y 8/4). Texture sablo-argileuse, structure peu développée. Porosité à tendance saturée. Transition progressive.
BCrjo	
<u>120-141 cm</u> :	Horizon identique au précédent dont il diffère par la consistance plus molle et par une plus grande saturation en eau.
Crjo	

Profil SS.66: identique à Z2.P8, Z2-P19, Z1.P15

1. Type de sol: Sulfatosol à jarosite évoluée, hydromorphe salé, sur matériaux sableux.

Date: 05/1985

Localisation: Situé sur une dune sableuse bordant le Saloum.

2. Environnement: dunes sableuses près du Saloum.

Zones de forêt dégradée sur dunes sableuses. La végétation est à base de *Combretum glutinosum* et *Guiera senegalensis*, associée à quelques pieds de *Lannea acida* et de rôniers. Sol entièrement couvert.

3. Description du profil:

<u>0-7 cm:</u>	Horizon sec, brun-jaunâtre (10YR 4/6). Texture sableuse, structure faiblement grumeleuse à tendance particulière vers le bas. Porosité très bonne. Racines sur tout l'horizon. Limite nette. Transition progressive.
A	
<u>7-30 cm:</u>	Horizon sec, jaune-beige (10YR 5/4). Texture sableuse plus argileuse, structure massive à tendance particulière. Porosité très bonne, racines. Transition progressive.
B	
<u>30-50 cm:</u>	Horizon frais, ocre (10YR 5/6) avec présence d'oxydes de fer. Texture sableuse plus argileuse, structure massive à tendance cimentée. Porosité moyenne, racines. Transition peu nette.
Bg	
<u>50-80 cm:</u>	Horizon plus frais, ocre (10YR 5/6), présence de taches gris-claires (10YR 7/1) assez importantes vers le bas. Texture sableuse, structure massive. Porosité élevée. Transition progressive.
Bge	
<u>80-120 cm:</u>	Horizon plus frais, brun-jaunâtre (10YR 6/8) nombreuses taches gris-claires (10YR 7/1). Texture sableuse moins argileuse, structure massive. Porosité élevée, présence de racines. Transition nette.
Be	
<u>120-150 cm:</u>	Horizon humide à mouillé vers le bas, ocre-rougeâtre (7,5YR 6/6), avec de nombreuses taches rouges (2,5YR 5/8) et grises (10YR 7/1). Texture sableuse, structure massive.
BCjo	

Tableau 4.1: Caracteristiques physico chimiques de quelques sols peu salés à matériaux d'ensemble sableux et fins.

Echantillons	Profondeur (cm)	GRANULOMETRIE (%)					pH		Mat. organiques (%/oo)			pH	C.E. mS/cm	ANIONS meq/100 g sol			CATIONS (ex.1/5) meq/100 g sol			
		ARG.	L.fins	L.Gros	S.fins	S.Gros	Eau	KcIN	C	N	C/N			Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺
Z1.P21	0- 25	9,8	4,8	13,7	46,1	25,0	7,5	6,3	4,85	0,43	11	7,0	0,21	1,0	0,25	0,25	0,37	0,15	0,06	1,2
	25- 80	20,5	9,8	15,3	37,2	16,8	8,5	7,6	1,37	0,10	13	7,5	1,00	9,0	0,70	0,50	0,51	0,33	0,07	7,61
	80- 110	22,3	10,9	16,5	36,8	13,3	8,9	7,5				8,0	1,11	9,0	0,90	2,50	0,16	0,21	0,13	8,74
Z3.P72	0- 30	11,9	5,5	12,3	51,0	19,4	5,3	4,7	6,37	0,52	12	6,0	0,63	3,5	1,17	0,90	0,92	1,03	0,07	3,39
	30- 57	16,0	7,8	13,5	42,0	20,6	4,7	4,0	1,25	0,12	10	5,1	0,80	5,0	1,25	0,50	0,14	0,51	0,17	5,74
	57- 150	18,0	8,5	13,1	43,2	17,2	5,5	4,7				5,8	1,27	8,0	2,05	0,50	0,13	0,80	0,22	8,70
SS.15	0- 13	20,3	18,6	38,7	17,1	0,7	6,5	5,9	52,0	3,18	16	7,2	0,60	1,95	0,5	0,15	0,6	1,1	0,05	1,0
	13- 60	32,7	19,8	28,3	11,6	2,2	6,7	5,7	16,0	0,65	25	6,3	1,30	4,80	1,35	0,05	0,5	1,7	0,10	3,85
	60- 100	28,3	10,6	29,8	23,7	2,5	6,9	6,0	3,2	0,26	12	6,6	2,80	8,00	6,00	0,05	2,1	3,55	0,30	8,25
	100- 143	33,5	10,6	36,9	10,7	2,2	4,8	4,2				5,9	5,70	19,75	12,80	0,05	8,25	9,0	0,40	14,75
Z2.P52	0- 20	10,0	4,8	7,4	69,2	8,1	5,6	4,5	3,1	0,26	12	5,9	0,2	1,0	0,77	0,5	0,04	0,06	0,12	1,36
	20- 50	3,0	1,5	5,0	76,6	13,6	5,6	4,4	0,55	0,05	10	6,1	0,1	1,0	-	0,5	0,08	0,11	0,11	0,92
	50- 80	4,3	2,3	5,4	75,0	12,8	5,1	4,0				5,7	0,14	1,0	1,25	1,5	0,0	0,08	0,15	1,18
	80- 120	4,5	2,3	4,8	73,1	15,2	4,5	4,1				5,1	0,52	1,0	0,89	0,0	0,05	0,22	0,12	4,0
	120- 135	3,8	2,0	5,5	72,5	16,3	3,4	3,3				3,4	1,3	1,0	3,12	0,0	0,26	1,31	0,17	7,22

Tableau 4.2: Caractéristiques physico-chimiques de quelques sols salés, peu salés, sur matériaux complexes fins et grossiers.

Echantillons	Profondeur (cm)	GRANULOMETRIE (%)					pH		Mat. organiques (‰)			pH Ex.1/5	C.E. mS/cm Ex.1/5	ANIONS meq/100 g sol			CATIONS (ex.1/5) meq/100 g sol			
		ARC.	L.fins	L.Gros	S.fins	S.Gros	Eau	KclN	C	N	C/N			Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺
Z2.P66	0- 20	11,0	5,3	25,9	56,4	0,6	5,8	4,7	5,86	0,42	14	6,2	0,35	3,0	0,99	1,0	0,12	0,21	0,17	1,91
	20- 50	15,3	7,3	22,5	54,5	0,03	5,4	4,4	1,11	0,11	13	5,7	0,83	7,0	1,48	0,5	0,10	0,20	0,21	6,52
	50- 60	18,3	8,8	22,8	49,8	0,03	5,0	4,2				5,1	1,29	9,5	1,70	0,0	0,16	0,49	0,28	9,66
	60-110	8,3	4,3	16,9	70,3	0,01	4,3	3,8				4,5	1,54	11,5	1,87	0,0	0,46	1,29	0,33	11,21
	110-135	4,5	2,3	7,8	84,8	0,01	3,2	3,1				3,2	2,0	12,0	4,31	0,0	1,44	3,33	0,27	10,27
ZS.40	0- 5	6,8	7,1	43,7	31,0	9,1	6,2	5,8	10,0	0,94		6,3	2,77							
	5- 20	15,6	8,2	38,3	27,5	7,6	5,5	5,2	12,0	0,79		6,2	2,94							
	20- 40	15,2	8,0	38,7	29,0	5,0	5,4	5,0	5,0	0,38		5,5	3,02							
	40- 70	25,5	7,1	35,7	24,0	2,9	7,5	6,8				7,3	5,45							
	70-130	11,8	3,0	4,4	51,2	26,6	3,8	3,6				3,9	4,03							
	130-150	19,9	5,6	12,8	56,2	1,2	3,5	3,3				4,3	3,83							

Tableau 4.3: Caractéristiques physico-chimiques de sols peu salés à matériaux coquilliers.

Echantillons	Profondeur (cm)	GRANULOMETRIE (%)					pH		Mat. organiques (‰)			pH Ex.1/5	C.E. mS/cm Ex.1/5	ANIONS meq/100 g sol			CATIONS (ex.1/5) meq/100 g sol			
		ARC.	L.fins	L.Gros	S.fins	S.Gros	Eau	KclN	C	N	C/N			Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺
SS.23	0- 22	19,7	11,8	43,3	20,3	0,6	6,2	5,6	30,0	2,24	13	6,6	0,8	2,7	0,45	0,1	0,55	0,75	0,05	2,0
	22- 50	27,8	12,0	36,5	15,9	2,1	7,0	6,0	4,6	0,36	13	6,7	2,9	9,0	3,55	0,05	0,65	1,05	0,10	11,0
	50- 80	-	-	-	-	-	8,0	7,2				7,2	5,3	16,35	8,65	0,25	3,40	3,30	0,25	19,5
SS.81	0- 5	16,6	9,7	43,4	26,1	1,2	6,6	6,1	12,8	1,05	12	6,9	3,15							
	5- 25	27,8	10,7	36,2	21,6	0,9	6,7	5,8	7,2	0,58	12	6,1	2,77							
	25- 40	39,1	9,3	23,7	11,5	10,5	7,8	7,0				7,1	3,91							
	40-100	41,4	9,9	21,5	11,2	10,0	8,2	7,3				7,5	3,95							

Tableau 4.4: Caractéristiques physico-chimiques des sols sursalés à matériaux d'ensembles argilo-limoneux.

Echantillons	Profondeur (cm)	GRANULOMETRIE (%)					pH		Mat. organiques (%/oo)			pH	C.E. mS/cm
		ARG.	L.fins	L.Gros	S.fins	S.Gros	Eau	KcIN	C	N	C/N	Ex.1/5	Ex.1/5
SS.16	0- 3	34,3	9,1	30,5	17,5	1,8	5,3	4,6	3,3	0,28	12,0	4,1	15,55
	3- 10	43,6	12,6	24,5	11,4	0,8	5,1	4,7	11,3	0,74	15,3	5,2	8,39
	10- 26/34	26,4	12,0	28,1	22,6	2,5	6,3	5,5	4,5	0,3	13,0	5,2	4,72
	26/34- 102	33,0	20,7	27,6	11,6	0,8	5,0	4,7				6,1	7,7
	102- 140	37-3	9,0	28,0	17,4	1,7	4,0	3,6				5,8	6,6

Tableau 4.5: Comparaison des teneurs en sulfatés solubles (SO_4^{2-}) des sols salés sulfatés du Sine Salopum et les sols salés de la vallée du fleuve Sénégal, à pH et C.E, comparables.

Origine	Echantillons	pH(eau)	C.E _s (mS/cm)	SO ₄ ⁼
Sine Saloum	1	6,2	0,8	0,45
	2	8,5	1,0	0,70
	3	5,5	1,3	2,05
	4	6,9	2,8	6,0
	5	8,0	5,3	8,65
Fleuve Sénégal	1	5,9	0,9	0,51
	2	8,3	1,5	0,26
	3	8,5	2,05	0,34
	4	6,4	3,2	0,5
	5	6,5	4,8	2,14

Tableau 4.6: Caractéristiques physico chimiques des sols potentiellement sulfatés acides sursalés.

Echantillons	Profondeur (cm)	GRANULOMETRIE (%)					pH			Matière organique (%/on)		
		ARG.	L.fins	L.Gros	S.fins	S.Gros	Eau	KclN	in situ	C	N	C/N
S1.P13	0- 10	10,3	8,5	27,7	33,9	19,8	7,4	6,4	7,3	3,36	0,13	25,8
	10- 30	16,4	10,6	20,6	26,7	23,1	7,5	6,8	7,3	2,94	0,13	22,6
	30- 47	18,8	10,4	21,7	28,6	18,1	7,0	6,4	7,0			
	47- 63	27,2	11,6	17,4	13,6	13,0	2,7	2,7	6,0			
	63- 80	27,2	11,6	17,4	13,6	13,6	2,7	2,7	6,0			
S2.P12	0- 5	6,5	3,3	11,1	53,2	25,4	7,2	6,7	7,0	3,12	0,12	26,0
	5- 11	2,5	1,3	4,4	56,7	34,7	6,2	5,8	6,5	1,96	0,05	39,0
	11- 32	12,3	6,0	5,6	63,8	12,0	4,1	3,9	6,5			
	32- 47	6,5	3,3	3,6	39,3	47,5	4,5	4,2	6,7			
	47- 65	29,5	13,8	17,2	27,9	11,4	4,0	3,7	7,6			
	65- 110	24,5	11,5	20,2	30,8	12,7	3,0	2,7	7,6			

Tableau 4.7: Caractéristiques physico-chimiques de sols sulfatés acides à jarosite jeune, sursalés.

Echantillons	Profondeur (cm)	GRANULOMETRIE (%)					PH		Mat. organiques (‰)			pH	C.E mS/cm	ANIONS meq/100g sol			CATIONS (ex.1/5) meq/100g sol				Al*** meq/100g	FER (%) total/ litre	Soufre (%)
		ARG.	L.fins	L.Gros	S.fins	S.Gros	Eau	KclN	C	N	C/N	Ex.1/5	Ex.1/5	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺			
SS.65	0- 4	11,4	5,8	15,6	58,8	2,9	6,6	6,3	6,6	0,45	15	6,9	25,0	121,5	23,35	0,05	1,45	42,0	1,65	100,0	-	2,3	0,71
	4- 37	17,4	8,3	14,4	51,9	1,4	4,3	4,1	8,0	0,23	35	4,3	29,0	162,0	10,35	0,05	1,20	43,5	2,05	117,5	0,10	4,5	2,6
	37- 74	14,7	6,1	15,3	56,4	1,9	4,1	3,9	7,4	0,18	41	6,3	29,0	152,5	18,2	0,05	1,25	39,0	1,95	129,0	0,10	2,5	1,95
	74-113	18,2	6,8	15,2	48,9	5,4	4,0	3,9				6,0	27,0	141,0	19,5	0,05	2,0	36,0	1,65	121,5	0,00	2,77	2,12
	113-150	12,4	3,2	8,2	56,6	15,2	2,8	2,7				3,1	21,0	99,5	17,5	0,00	1,25	27,0	0,55	88,0	3,20	1,63	1,67
SS.35	0- 8	6,4	4,0	39,5	42,6	0,3	6,1	5,8	15,5	0,32	48,0	6,2	37,0	206,0	41,5	0,05	10,0	67,5	2,05	190,0	0,00	1,27/4,0	2,51
	8- 20	26,3	13,2	30,1	21,3	0,4	3,9	3,6	9,4	0,54	17,0	4,1	35,0	197,5	23,5	0,00	2,1	50,0	2,3	187,5	0,10	4,6/3,8	2,74
	20-100	38,4	13,8	22,4	14,0	1,8	3,7	3,5	10,3	0,58	18,0	3,9	31,0	176,5	19,0	0,00	3,1	39,0	0,85	153,0	0,60	9,72/6	3,62
SS.64	0- 5	21,0	12,3	28,8	32,4	0,3	5,6	5,3	16,6	1,07	16	6,2	10,7	49,35	9,45	0,05	4,0	13,5	0,65	40,0	-	2/1,4	1,54
	5- 36	36,7	11,6	25,6	20,4	0,4	4,3	3,7	4,8	0,3	16	6,8	2,6	10,45	1,90	0,05	0,5	0,3	0,25	11,0	0,3	3,8/2,3	0,33
	36- 55	46,4	14,4	16,1	16,5	0,8	3,8	3,4	7,3	0,24	30	5,7	5,6	23,40	3,70	0,00	0,7	3,25	0,45	23,0	0,3	5,9/4,7	1,22
	55- 83	59,5	20,9	7,9	2,0	0,2	3,6	3,3				4,1	10,0	46,4	5,80	0,00	1,65	8,00	0,60	42,50	-	-	-
	83-115	61,1	19,5	8,7	1,3	0,8	3,6	3,3				4,0	12,0	57,5	7,80	0,00	2,75	11,50	0,75	50,0	1,1	12,9	3,25
	115-120	56,8	18,4	13,5	0,8	0,4	2,8	2,6				3,3	15,0	64,0	15,6	0,00	3,75	15,0	0,65	59,0	10,3	5,47	2,57

Tableau 4.8: Caractéristiques physico-chimiques de sols sulfatés acides à taches jaunâtres, moyennement salés (SS.37) et sursalés (SS.17).

Echantillons	Profondeur (cm)	GRANULOMETRIE (%)					PH		Mat. organiques (‰)			pH	C.E mS/cm	ANIONS meq/100g sol			CATIONS (ex.1/5) meq/100g sol				FER total (%)	Soufre total (%)
		ARG.	L.fins	L.Gros	S.fins	S.Gros	Eau	KclN	C	N	C/N	Ex.1/5	Ex.1/5	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺		
SS.37	0- 10	27,2	9,7	31,5	24,5	4,4	4,8	4,5	5,1	0,35	15	6,2	6,3	27,35	4,3	0,05	2,4	4,5	0,70	26,0		
	10- 37	23,7	6,7	25,6	37,6	3,2	4,5	3,9	2,9	0,22	13	6,1	3,5	15,25	1,85	0,05	0,35	1,2	0,55	15,0		
	37- 61	23,2	7,0	23,1	40,7	3,5	4,0	3,7	5,8	0,33	18	5,2	8,0	38,1	4,75	0,05	0,9	6,5	1,20	31,0		
	61- 73	7,2	4,0	13,4	49,3	1,5	4,2	3,9				5,9	5,9	26,8	2,7	0,05	0,7	5,0	0,85	23,0		
	73- 92	2,4	1,9	11,5	60,1	0,6	4,3	4,1				5,5	2,9	12,4	1,15	0,05	0,5	2,1	0,3	10,5	0,89	0,38
	92-130	9,1	2,4	9,5	52,7	1,8	3,7	3,6				5,2	6,8	32,5	1,95	0,0	0,75	5,25	0,7	28,0	1,16	0,43
SS.17	0- 20	14,7	7,4	47,3	25,3	0,4	7,1	6,6	5,2	0,28	19	6,8	19,3									
	20- 42	28,6	10,1	40,2	14,5	0,6	5,6	5,2	7,3	0,48	15	6,3	23,2									
	42-115	28,4	10,6	40,5	14,0	0,2	4,5	4,2	4,9	0,38	13	5,8	30,1									
	115-140	27,0	11,9	39,9	13,2	0,2	4,2	4,0				5,3	35,0								2,54	1,86
	140-150	29,2	10,6	36,4	14,9	0,8	3,9	3,8				4,8	37,5								2,86	2,2

Tableau 4.9: Caractéristiques physico-chimiques de sols sulfatés acides, à jarosite évoluée, à taches ocre rougeâtre, peu salés.

Echantillons	Profondeur (cm)	GRANULOMETRIE (%)					pH		Mat. organiques (‰)			pH Ex.1/5	C.E. mS/cm Ex.1/5	ANIONS meq/100 g sol			CATIONS (ex.1/5) meq/100 g sol			
		ARG.	L.fins	L.Gros	S.fins	S.Gros	Eau	KClN	C	N	C/N			Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺
Z1.P49	0-10	35,3	13,3	17,3	30,8	2,8	5,3	4,2	10,40	0,92	11	6,1	0,258	1,50	1,12	1,0	0,34	0,36	0,07	1,32
	10-55	15,3	7,0	11,2	60,3	5,8	4,6	3,5	24,08	1,86	13	5,7	1,120	-	0,81	2,0	0,18	0,16	0,04	0,61
	55-150	17,6	8,3	9,2	57,7	6,4	4,2	3,7	3,56	0,33	11	4,8	1,974	13,5	4,30	0,50	0,98	2,83	0,28	13,14
SS.24	0-20	11,2	13,0	54,4	12,7	0,4	5,7	5,1	20,8	1,62	13	6,4	2,9	10,70	3,35	0,05	0,30	3,00	0,40	10,59
	20-50	28,3	14,3	48,8	5,2	0,2	4,1	3,5	6,8	0,52	13	4,6	0,5	1,30	0,65	0,05	0,05	0,05	0,05	2,0
	50-63	19,0	7,9	51,2	18,6	0,6	3,8	3,4	2,9	0,14	12	4,3	0,5	1,25	0,75	0,05	0,05	0,05	0,05	1,9
	63-90	46,6	13,8	25,7	6,9	1,1	3,6	3,2				4,1	3,1	11,85	2,70	0,0	0,35	1,35	0,30	12,5
	90-135	30,3	11,7	27,7	22,0	1,8	3,5	3,1				4,1	3,9	15,1	3,20	0,0	0,75	3,00	0,30	15,0
SS.57	0-25	18,1	9,5	40,8	28,6	2,4	4,0	3,7	8,0	0,61	13	4,5	7,5	27,55	12,50	0,05	2,95	10,0	0,15	27,0
	25-60	21,0	8,0	31,9	30,0	1,9	4,7	5,7	2,9	0,10	15	4,7	0,9	1,55	1,40	0,05	0,05	0,05	0,05	3,95
	60-80	17,7	7,0	39,0	33,9	1,6	3,7	6,0	1,1	0,14	8	4,6	0,9	2,80	1,05	0,05	0,05	0,15	0,15	3,65
	80-97/102	25,0	8,3	28,7	33,8	2,5	3,6	3,1				4,5	1,3	3,95	1,90	0,05	0,10	0,10	0,45	5,20
	97/102-	18,4	5,8	36,2	35,5	2,0	3,6	3,3				4,5	1,3	4,30	1,65	0,00	0,15	0,50	0,05	5,25
	123/126-																			
	123/126-150	20,9	8,0	36,1	26,4	3,6	3,3	3,1				3,5	4,7	18,5	3,8	0,00	0,55	3,45	0,20	18,0
Z3.P18	0-46	12,5	6,0	13,8	46,1	21,1	4,5	3,8	1,88	0,17	11	4,9	0,345	1,5	1,04	-	0,1	0,27	0,03	2,35
	46-100	18,5	8,8	14,8	40,1	17,5	4,1	3,6	1,33	0,13	9	4,8	0,923	4,5	2,65	0,5	0,65	0,8	0,03	6,18
	100-160	20,3	9,8	13,7	38,2	18,1	3,8	3,6				4,0	1,34	7,0	3,82	-	0,42	1,16	0,10	8,70
Z2.P36	0-25	2,8	1,3	9,5	72,5	13,6	6,1	5,0	1,99	0,10	10	5,7	0,183	2,0	0,08	-	0,02	0,06	0,07	1,38
	25-46	8,3	4,0	8,6	65,9	13,0	4,7	4,0	1,60	0,15	11	5,3	0,89	7,0	1,87	-	0,14	0,42	0,16	6,70
	46-83	9,3	4,8	12,1	65,2	8,5	4,5	3,9				4,9	1,724	12,0	2,99	-	0,52	1,35	0,27	13,48
	83-120	13,3	6,3	12,4	61,2	6,7	4,4	3,9				4,7	1,946	15,0	2,75	-	0,26	1,76	0,32	15,14
	120-145	14,5	6,8	11,9	59,3	7,6	4,4	3,8				4,7	2,335	17,5	3,49	0,5	0,65	1,78	0,39	14,75
Z2.P1	0-45	3,8	2,0	5,6	70,0	18,1	4,7	4,9	1,50	0,13	11	4,8	0,478	4,0	0,43	-	0,31	0,38	0,13	3,31
	45-115	4,8	3,3	6,4	66,8	16,4	4,1	3,5				4,3	1,529	12,5	1,41	-	0,44	1,44	0,94	10,75
	115-155	8,3	4,3	5,8	63,1	16,3	4,3	3,9				4,1	1,067	9,0	0,98	-	0,43	0,99	0,27	6,70

Tableau 4.10: Caractéristiques physico-chimiques des sols sulfates acides à jarosite évoluée, à taches et horizons rhodiques, moyennement salés (SS.59) et sursalés (SS.18 et SS.56).

Echantillons	Profondeur	GRANULOMETRIE (%)					pH		Mat. organiques (%/no)			pH	C.E mS/cm	ANIONS meq/100g sol			CATIONS (ex.1/5) meq/100g sol					Al*** mg/100g	FER (%)		Souffre (%)	
		(cm)	ARG.	L. fins	L. Gros	S. fins	S. Gros	Eau	KcIN	C	N	C/N		Ex.1/5	Ex.1/5	cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca**	Mg**	K*		Na*	Total		Libre
SS.59	0-24	21,2	8,6	27,2	38,1	0,7	3,8	3,5	5,5	0,34	16	4,5	6,7	28,2	7,85	0,10	0,65	11,0	0,3	25,0	0,6	3,43	2,7	0,39		
	24-55	21,2	7,6	22,8	44,5	0,4	3,7	3,4	1,7	0,15	11	4,8	3,0	12,4	1,95	0,00	0,20	2,4	0,2	11,5	0,2	2,0	1,1	0,21		
	55-110	18,2	8,0	12,4	55,0	1,6	3,6	3,4	3,4	0,27	13	3,9	8,0	36,45	5,70	0,00	0,95	10,50	0,4	30,0	0,3	3,3	2,6	0,92		
	110-145	15,0	4,8	19,5	55,0	1,9	3,6	3,4				3,9	7,1	31,05	5,50	0,0	1,0	10,50	0,35	25,0	0,7	2,14	1,7	0,44		
SS.18	0-9	6,6	5,5	45,2	35,5	0,1	4,5	4,4	10,2	0,34	30	4,7	38,0	217,0	38,0	0,05	2,3	62,5	0,4	207,5	0,1	0,99	0,34	2,07		
	9-20	26,2	10,6	35,9	21,1	0,1	3,8	3,5	4,3	0,26	17	3,9	10,0	48,5	6,9	0,0	0,35	13,0	0,45	42,0	0,3	2,7	0,99	0,57		
	20-40	32,4	10,5	31,2	19,2	0,2	3,5	3,3	3,9	0,34	11	3,8	11,0	53,0	8,7	0,0	0,55	12,5	0,45	49,0	0,4	4,1	2,8	0,66		
	40-72	35,7	13,6	33,8	9,5	0,1	3,5	3,2				3,8	15,0	73,0	10,4	0,0	1,25	16,0	0,45	70,0	0,4	-	-	-		
SS.56	72-150	26,6	12,3	40,7	13,7	0,4	3,5	3,3				3,6	16,0	79,0	12,15	0,0	1,9	18,0	0,7	75,0	0,7	2,7	2,0	1,27		
	0-20	47,6	16,7	14,2	5,9	0,1	6,7	6,4	18,7	0,44	43	6,4	25,0	117,0	40,5	0,05	20,5	32,0	3,2	106,0	-	4,4	1,1	1,81		
	20-47	39,5	12,5	27,0	13,1	0,3	5,8	5,3	7,0	0,20	35	6,2	14,0	59,5	19,0	0,05	9,15	12,5	1,55	58,5	0,0	4,29	1,8	1,06		
	47-70	39,3	11,0	18,5	23,1	0,3	4,1	3,9	9,4	0,46	20	5,6	22,0	109,5	14,0	0,05	0,95	22,0	1,8	105,0	-	6,0	4,7	1,04		
	70-87	41,0	13,1	15,4	18,2	0,5	4,0	3,9				4,6	42,0	247,5	28,0	0,05	2,45	45,0	2,9	237,5	0,0	6,51	4,6	3,9		
	87-140	37,3	13,0	30,8	6,4	0,1	4,0	3,9				4,4	58,0	368,0	19,0	0,0	4,1	72,5	4,1	351,0	-	1,6	0,23	3,45		

Tableau 4.11: Caractéristiques physico-chimiques de sols sulfates acides à jarosite évoluée, hydromorphes salés.

Echantillons	Profondeur [cm]	GRANULOMETRIE (%)					PH		Mat. organiques (%/oo)			pH	C.E mS/cm	ANIONS meq/100g sol			CATIONS (ex.1/5) meq/100g sol				Al*** meq/100g	FER (%) total	Soufre total (%)
		ARG.	L.fins	L.Gros	S.fins	S.Gros	Eau	KClN	C	N	C/N			Ex.1/5	Ex.1/5	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca**	Mg**			
SS.66	0- 7	2,6	2,0	9,5	33,6	33,6	5,1	4,5	3,6	0,33	11	5,6	0,04								0,0	0,79	0,07
	7- 30	5,5	6,7	6,7	32,9	32,9	4,1	3,9	1,9	0,18	11	4,8	0,14								-	-	-
	30- 50	7,0	7,9	7,9	30,8	30,8	3,9	3,8	1,6	0,20	8	4,4	0,06								-	-	-
	50- 80	7,1	8,4	8,4	27,8	27,8	3,6	3,6				4,2	0,14								-	-	-
	80-120	6,2	6,8	6,8	42,0	42,0	3,5	3,5				4,4	0,20								1,9	0,96	0,83
22.P2	0- 60	3,0	1,5	4,9	81,0	8,8	4,6	4,2	3,75	0,31	12	4,7	0,33	2,5	0,27		0,22	0,3	0,14	1,70	0,34	0,73	0,35
	8- 20	4,0	2,0	5,5	73,9	14,2	4,0	3,8				4,2	0,40	3,0	0,33		0,10	0,23	0,13	2,61	0,38	1,54	1,01
	20-100	6,5	3,3	6,6	70,2	13,1	4,4	4,2				4,4	1,36	11,5	0,98		0,31	1,33	0,36	9,48	0,34	2,28	1,56
22.P19	0- 40	5,3	3,8	10,0	71,6	9,9	5,1	4,5	3,4	0,37	9										0,22	0,58	0,18
	40- 96	6,3	3,3	6,0	67,1	17,1	4,5	4,0													0,16	0,92	0,39
	96-124	4,3	2,0	3,0	73,4	17,3	4,7	4,4													0,04	0,63	0,25
	124-134	4,0	2,0	3,0	72,8	18,1	4,4	4,3													0,06	0,76	0,39
21.P15	0- 28	10,5	5,0	11,9	28,5	28,5	4,3	3,8	2,03	0,17	12	5,08	0,317	1,5	0,74	-	0,06	0,15	0,07	2,09			
	28- 73	3,5	1,8	7,0	36,3	36,3	5,5	4,7	4,26	0,44	10	5,9	0,439	3,0	0,74	-	0,18	0,25	0,08	2,94			
	73-124	9,0	4,5	10,1	51,4	24,8	4,4	4,1				4,7	1,123	8,0	1,48	-	0,19	1,45	0,16	8,70			

Tableau 4.12: Granulométrie, pH et matières organiques des sols de glaciaire de raccordement.

Profils	Profondeur (cm)	Granulométrie (%)					pH (1/2,5)		Mat. organiques (g/100)		
		Argiles	L.fins	L.gros	S.fins	S.gros	Eau	KCl	Carbone	Azote	C/N
S2.P1	0- 18	5,5	2,8	15,2	51,1	24,9	5,75	4,71	5,0	0,44	11
	18- 32	20,0	9,3	13,7	38,0	18,6	6,25	5,0	4,92	0,46	11
	32- 52	21,0	10,0	15,6	35,8	17,3	6,28	4,8			
	50- 70	20,8	9,8	15,3	35,0	18,9	5,60	4,43			
	70- 96	20,5	9,5	15,2	37,4	17,2	6,17	5,10			
	96-121/124	20,8	9,8	15,2	34,7	19,4	7,50	6,45			
	121-124-135	22,3	10,5	15,4	33,4	18,2	7,65	6,7			
S2.P2	0- 10	4,5	2,3	10,4	55,7	26,7	5,2	4,2	4,38	0,40	11
	10- 40	8,3	4,0	10,4	53,2	23,8	4,5	4,0	3,28	0,31	10
	40- 70	9,3	4,5	11,8	49,8	24,4	4,5	3,9			
	70-100	13,0	6,3	10,9	46,3	23,3	4,3	3,6			
	100-150	12,0	6,0	11,5	48,0	22,4	4,3	3,7			
S2.P3	0- 20	8,8	4,5	14,5	51,7	20,0	5,35	4,1	6,8	0,5	14
	20- 37	8,8	4,3	14,9	52,8	18,8	5,0	3,9	3,36	0,26	13
	37- 58	8,8	4,3	14,3	49,7	22,5	4,7	3,8			
	58- 92	12,5	6,3	11,4	44,0	25,1	4,5	4,0			
	92-120	13,8	6,6	11,6	40,9	26,8	4,0	3,4			
	120-141	13,8	6,5	11,7	38,9	29,0	3,9	3,4			

Tableau 4.13: Granulométrie, pH et matières organiques des sols de terrasses hautes sous forêts d'Acacia seyal.

Profils	Profondeur (cm)	Granulométrie (%)					pH (1/2,5)		Mat. organiques (g/100)		
		Argiles	L.fins	L.gros	S.fins	S.gros	Eau	KCl	Carbone	Azote	C/N
S2.P15	0- 30	21,3	10,5	45,9	21,8	0,4	7,3	5,8	11,74	1,04	11
	30-45/48	34,0	16,0	36,7	12,0	0,9	7,8	6,6	3,76	0,33	11
	45/48-67/68	14,0	6,8	37,3	41,6	0,2	8,0	7,0	1,02	0,10	10
	67/68-82	29,0	13,8	36,2	17,4	1,4	7,9	7,0	1,88	0,13	14
	82-100	34,8	16,3	33,3	16,8	8,9	8,2	7,5	2,90	0,24	12
S2.P16	0- 13	29,8	14,0	44,5	10,9	0,1	6,4	5,4	14,62	1,22	12
	13- 35	35,5	16,8	38,1	8,9	0,1	6,6	5,6	8,76	0,57	15
	35- 50	35,0	16,5	39,3	8,5	0,2	6,6	5,6	5,78	0,35	16
	50- 86	37,0	17,3	34,7	10,3	0,5	7,3	6,2	1,96	0,18	11
	86-120	29,0	13,5	28,4	27,9	1,2	8,3	7,7	1,56	0,15	10

Tableau 4.14: Granulométrie, pH et matières organiques des sols de terrasses moyennes.

Profils	Profondeur (cm)	Granulométrie (%)					pH (1/2,5)		Mat. organiques (%/oo)		
		Argiles	L.fins	L.gros	S.fins	S.gros	Eau	Kcl	Carbone	Azote	C/N
S2.P4	0- 4	7,3	3,5	5,8	52,4	30,5	5,7	5,6	6,72	0,26	26
	4- 11	5,3	2,5	12,7	54,8	24,3	4,7	4,3	4,92	0,36	14
	11- 22	11,5	5,5	15,6	45,6	21,6	4,5	3,9			
	22- 50	13,5	6,3	14,7	42,9	22,5	4,1	3,7			
	50- 87	20,0	9,3	13,3	36,1	21,5	5,5	4,2			
	87- 108	13,5	6,5	12,5	44,8	22,6	3,9	3,5			
	108- 140	16,5	8,0	13,9	38,0	23,8	3,9	3,5			
S2.P5	0- 9	17,5	8,5	38,6	34,5	0,4	4,7	3,4	5,86	0,33	18
	9- 18	32,5	15,3	41,0	10,9	0,1	3,9	3,4	3,44	0,27	13
	18- 36	40,5	17,8	32,5	8,7	0,2	3,8	3,3			
	36- 46	42,3	18,5	28,0	10,8	0,2	3,8	3,3			
	46- 80	39,3	17,0	29,1	13,7	0,3	3,6	3,3			
	80- 125	22,3	10,5	14,1	31,8	21,2	4,1	3,5			
	125- 145	20,8	10,0	14,6	31,6	23,1	4,2	3,5			
S2.P6	0- 7	20,8	10,0	50,2	18,0	0,5	4,4	3,9	5,24	0,34	15
	7- 20	27,3	12,8	42,8	14,9	1,8	4,1	3,6	3,92	0,26	15
	20- 40	33,0	15,5	44,8	6,2	0,2	4,1	3,6			
	40- 50	29,3	13,8	19,8	23,4	13,5	4,3	3,7			
	50- 90	31,0	14,5	19,0	23,6	11,6	4,3	3,7			
	90- 103	28,0	13,3	21,3	22,9	14,3	3,1	2,9			
	103- 144	27,8	13,0	19,3	25,9	13,9	8,0	7,4			
S2.P9	0- 12	12,3	6,0	16,1	35,0	30,1	4,2	3,8	3,92	0,22	18
	12- 52	24,8	11,8	32,5	30,2	0,3	4,4	4,1	4,22	0,18	23
	52- 76	22,0	10,3	24,6	42,4	0,4	4,3	4,1			
	76- 106	8,5	4,3	9,4	52,8	24,8	4,7	4,3			
S2.P11	0- 7	15,8	7,5	18,3	34,5	23,4	4,9	4,1	20,64	2,20	9
	7- 34	9,5	4,5	16,9	45,4	23,3	5,1	4,1	3,6	0,24	15
	34- 65/70	9,0	4,3	14,9	43,4	28,1	4,4	3,8			
	65/70- 97	38,5	17,8	19,5	14,3	9,9	3,7	3,3			
	97- 145	19,0	8,8	14,7	34,7	22,7	4,1	3,5			
S2.P17	0- 7	12,3	6,0	39,9	41,3	0,2	4,9	4,7	4,54	0,37	12
	7- 35	25,3	11,8	30,7	31,8	0,1	4,3	3,6	3,68	0,32	11
	35- 78	19,5	9,3	26,4	44,5	0,5	4,0	3,5			
	78- 104	10,5	5,0	26,8	57,5	0,5	3,8	3,5			
	104- 150	24,0	11,3	35,4	29,2	0,3	3,8	3,4			
S2.P18	0- 10	14,5	7,3	33,0	44,0	0,8	5,1	4,0	12,36	1,09	11
	10- 34	19,8	9,3	25,8	44,2	0,4	4,6	3,6	3,84	0,35	11
	34- 50	12,3	6,0	27,9	52,9	0,5	4,1	3,4			
	50- 70	16,0	7,5	28,4	47,2	0,7	3,8	3,4			
	70- 100	17,5	8,5	28,6	44,7	0,5	3,9	3,4			
	100- 110	14,8	7,0	29,4	48,6	0,3	4,0	3,3			
S2.P19	0- 25	23,3	11,0	27,0	37,4	0,8	3,8	3,4	2,53		13
	25- 45/50	21,8	10,5	24,6	41,9	0,8	3,8	3,3	2,50		13
	45/50- 80/85	27,3	12,5	21,2	38,2	0,6	3,8	3,2			
	80/85- 130	28,5	13,5	20,7	35,6	1,6	3,7	3,3			
S2.P20	0- 9	13,0	6,3	25,7	54,3	0,6	5,7	5,2	4,06	0,30	13
	9- 15/20	23,3	11,0	23,8	40,9	0,6	4,3	3,8	7,36	0,48	15
	15/20- 48	22,0	10,5	20,6	45,4	1,2	4,1	3,5			
	48- 70	27,0	12,5	20,4	38,8	0,6	4,0	3,3			
	105- 150	19,0	10,9	19,4	51,6	1,2	4,0	3,5			

Tableau 4.15: Granulométrie, pH et matières organiques des sols de terrasses basses.

Profils	Profondeur (cm)	Granulométrie (%)					pH (1/2,5)		Mat. organiques (°/oo)		
		Argiles	L.fins	L.gros	S.fins	S.gros	Eau	Kcl	Carbone	Azote	C/N
S2.P7	0- 7	11,8	5,8	4,6	50,0	17,4	5,8	5,5	5,7	0,18	32
	7- 20	4,8	2,5	2,9	57,7	21,8	4,9	4,7	2,66	0,08	33
	20- 30	6,3	3,0	9,2	56,6	24,6	4,4	4,3			
	30-45/50	31,0	14,5	9,7	34,8	9,6	3,6	3,5			
	45/50- 70	29,0	13,5	7,9	39,6	9,7	3,8	3,6			
	70- 95	21,0	10,0	0,0	41,0	17,7	3,2	3,2			
S2.P8	0- 5	6,5	3,3	1,1	53,2	25,4	7,2	6,7	3,12	0,12	26
	5- 11	2,5	1,3	4,4	56,7	34,7	6,2	5,8	1,96	0,05	39
	11- 32	12,3	6,0	5,6	63,8	12,0	4,1	3,9			
	32- 47	69,5	3,3	3,1	39,3	47,5	4,5	4,2			
	47-63/65	29,5	13,8	7,2	27,9	11,4	4,0	3,7			
	63/65- 110	24,5	11,5	0,2	30,8	12,7	2,9	2,7			
S2.P21	0- 5	21,3	10,3	8,5	38,5	0,9	7,2	6,8	3,20	0,18	18
	5- 10	17,8	8,5	9,7	42,4	1,2	6,1	5,7	3,12	0,15	21
	10- 50	33,0	15,5	1,4	29,0	0,8	4,4	4,0	7,12	0,19	37
	50- 90	30,5	14,3	3,8	30,1	1,1	4,2	3,9	7,66	0,21	36
	90- 110	31,3	14,5	2,0	31,0	1,3	4,0	3,8	8,92	0,24	37

Tableau 4.16: Granulométrie, pH et matières organiques des sols de bordure de terrasse haute.

Profils	Profondeur (cm)	Granulométrie (%)					pH (1/2,5)		Mat. organiques (°/oo)		
		Argiles	L.fins	L.gros	S.fins	S.gros	Eau	Kcl	Carbone	Azote	C/N
S2.P14	0- 7	21,8	10,3	44,6	22,8	0,04	3,9	3,6	4,38	0,24	18
	7- 19	16,8	8,0	50,5	24,3	0,1	4,2	3,7	1,64	0,16	10
	19- 53	25,8	12,0	44,1	17,5	0,3	3,8	3,3			10
	53- 70	28,3	13,3	46,9	10,5	0,7	3,9	3,3			
	70- 100	30,8	14,5	43,4	10,6	0,6	3,8	3,4			
	100- 145	30,8	14,3	44,6	10,7	0,1	3,8	3,4			

Tableau 4.17: Granulométrie, pH et matières organiques des sols des chenaux de marée.

Profils	Profondeur (cm)	Granulométrie (%)					pH (1/2,5)		Mat. organiques (°/oo)		
		Argiles	L.fins	L.gros	S.fins	S.gros	Eau	Kcl	Carbone	Azote	C/N
S2.P12	0- 5	19,5	9,0	47,5	23,5	0,1	6,2	5,7	5,16	0,26	20
	5- 10	9,3	4,5	53,9	32,0	0,1	5,2	4,9	2,34	0,13	18
	10- 50	33,0	15,5	24,1	26,8	0,3	4,1	3,9	7,66	0,25	31
	50- 90	34,5	16,3	33,0	15,3	0,7	3,9	3,6	11,58	0,35	33
	90- 130	37,5	17,5	30,7	13,6	0,5	3,7	3,6	12,82	0,36	36

Tableau 4.18: Composition géochimique de quelques sols sulfatés acides sursalés à jarosite jeune (Eléments totaux en % d'oxydes).

Echan- tillons	Profon- deur (cm)	Perte au feu	Bilan	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
SS.35	0- 8	12,4	97,1	73,9	2,7	1,5	0,7	0,02	0,3	1,4	0,4	32,8
	8- 20	13,6	96,8	61,6	7,8	4,8	0,8	0,02	0,2	1,3	1,2	14,4
	20- 100	14,7	98,6	56,5	10,6	7,5	0,8	0,03	0,2	1,2	1,8	11,1
SS.64	36- 55	4,6	100,0	77,0	10,3	4,2	0,9	0,02	0,2	0,5	1,0	1,3
	55- 83	15,3	100,8	53,6	15,8	9,1	1,1	0,03	0,2	0,8	2,1	2,9
SS.65	0- 4	4,1	98,9	81,7	6,2	4,0	0,7	0,02	0,2	0,5	0,5	1,1
	4- 37	2,7	99,4	86,1	6,1	2,2	0,7	0,01	0,2	0,3	0,5	0,7
	37- 74	4,9	99,6	81,6	5,0	3,7	0,6	0,02	0,2	0,4	0,7	1,6
	74- 113	2,7	99,6	87,2	4,3	2,4	0,6	0,01	0,2	0,4	0,4	1,6
	113- 150	5,8	99,4	80,2	6,1	2,5	0,7	0,02	0,2	0,6	0,7	2,4

Tableau 4.19: Composition géochimique de sols sulfatés acides sursalés à jarosite évoluée, à horizons rhodiques (Eléments totaux en % d'oxydes).

Echan- tillons	Profon- deur (cm)	Perte au feu	Bilan	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
SS.18	0- 9	12,6	97,6	74,4	3,0	1,0	0,6	0,1	0,2	1,3	0,4	4,1
	9- 20	5,2	100,1	77,9	7,6	3,2	0,8	0,1	0,2	0,8	0,8	1,7
	20- 40	5,9	96,5	72,6	9,0	4,5	0,9	0,1	0,2	0,8	0,8	1,8
	40- 72	7,8	98,8	71,8	11,0	3,1	0,9	0,1	0,2	0,8	0,9	2,5
	72- 150	8,1	98,3	74,0	8,0	2,9	0,9	0,1	0,2	0,7	0,4	2,8
SS.56	0- 20	12,0	100,7	59,4	14,4	5,0	0,9	0,03	1,1	1,8	1,5	4,2
	20- 47	7,6	97,0	67,5	11,2	4,6	0,8	0,05	0,5	0,9	1,3	2,5
	47- 70	9,4	97,9	64,6	10,9	6,3	0,9	0,02	0,2	1	0,8	3,6
	70- 87	17,3	99,5	53,0	11,7	6,2	0,9	0,02	0,2	1,4	1,3	7,5
	87- 140	23,4	98,4	47,8	12,5	1,8	0,9	0,01	0,2	1,9	0,6	9,2

Tableau 5.1: Acidité potentielle, acidité actuelle, E_H et pH de sols potentiellement sulfatés acides et de sols sulfatés acides.

Echantillon	Profondeur	pH in situ	E_H (mVolt)	Acidité potentielle (mol/m ³)	Acidité actuelle (mol/m ³)
S2.TN (tanne nu)	5	5,43	445	0,0	37,0
	20	4,33	464	0,0	65,16
	40	3,81	518	0,0	95,03
	60	3,57	513	0,0	95,03
	50	3,9	536	0,0	172,86
	100	3,84	351	280,5	103,17
	156	4,2	382	231,0	182,81
S2.Ti (tanne inondé)	5	6,9	238	0,0	0,0
	20	7,08	304		0,0
	40	6,9	321		0,0
	60	6,64	353		0,0
	70	6,48	-189		0,0
	80	6,49	-248	797,5	0,0
	100	6,61	-211	662,75	0,0
	120	7,0	-212	764,5	0,0
S2.TV (tanne-vasiée)	5	7,42	-130		0,0
	30	6,74	-213	565,15	0,0
	70	6,68	-224	775,5	0,0
	110	6,67	-230	998,25	0,0
	130	6,71	-229	860,75	0,0

Tableau 5.2: Composition géochimique de sels cristallisés (croûte et poudre) prélevés de la surface de sols sulfatés acides salés.

Echantillons	Perte au feu	Bilan	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
S.1	27,75	88,61	44,3	1,2	0,5	0,23	0,01	1,4	1,67	0,23	11,21
S.5	43,05	98,83	48,95	1,2	0,4	0,24	0,01	0,5	1,45	0,09	3,10
S.8	23,69	84,97	39,3	1,5	0,7	0,22	0,01	2,0	3,82	0,32	13,35
S.9	19,13	95,19	61,8	1,8	0,6	0,40	0,03	0,2	5,25	0,28	5,68
S.12	26,76	91,5	54,6	0,4	0,2	0,07	0,01	1,0	0,66	0,15	7,73

ANNEXE IV: RESULTATS DES ESSAIS DE REBOISEMENT

Tableau 8.1: Mortalité des reboisement sur sols salés et sulfatés acides salés de Ngan.

Points d'observation	SOL (Extrait 1/5)			NAPPES			E. camaldulensis		
	Humidité (%)	pH	C.E (25°C)	Profondeur (cm)	pH	C.E (25°C)	Mort. (%)	H. moy. (cm)	C. moy (cm)
P1	16,2	6,5	1	200	6,9	47	97	770	28
P2	4,4	4,2	1	220	2	24	100	-	-
P3	10,6	5,2	0,9	270	7,1	35	14	730	26
P4	15	5,5	0,9	330	8	22	25	920	30
P5	7,3	4,5	0,5	227	7,3	15	8	540	18
P6	9	4,7	0,1	200	6,1	8,9	10	550	17
P7	8,2	4,4	0,9	273	6,9	51	40	430	14
P8	7,5	5,4	1	320	7,1	51	60	360	11
P9	3	4,8	9,8	150	3,2	140	100	-	-
P10	5	3,9	9,6	150	2,6	92	100	-	-
P11	6,5	4,1	2,3	230	2,8	22	100	-	-
P12	4,5	4,8	0,4	200	2,2	19,5	100	-	-
P13	4,3	4,8	0,6	400	5,6	23	100	-	-
P14	6,2	4,3	0,8	380	6,8	34	30	490	16
P15	9,9	4,3	1,1	360	7,4	57	45	370	12
P16	11	4,3	1,1	360	7	49	40	400	13
P17	4,8	4,5	0,7	360	7,7	28	15	470	16
P18	7	4	1,1	460	6,7	38	80	580	20
P19	16,6	4,3	1,4	430	6,0	27,5	43	430	14
P20	9,5	4,6	0,9	360	7,4	32	38	490	16

Tableau 8.2: Mortalité des reboisement sur sols salés et sulfatés acides salés de Keur-Mactar.

Points d'observation	SOL (Extrait 1/5)			NAPPES			M. viridiflora		
	Humidité (%)	pH	C.E (25°C)	Profondeur (cm)	pH	C.E (25°C)	Mort. (%)	H. moy. (cm)	C. moy (cm)
P21	16,5	6,3	0,7	540	6,8	33	69	830	32,8
P22	20,3	5,7	1,2	550	7,4	18	69	540	26,8
P23	9,8	6	2,1	200	3,9	22,5	94	760	37
P24	5,4	4,4	9,5	135	4	100	100	-	-
P25	5,0	3,8	1	140	2,8	32	45	320	11
P26	7,8	7,8	4	140	8	56	100	-	-
P27	8,5	3,6	4,3	165	3,2	51	100	-	-

Tableau 8.3: Mortalité des reboisement sur sols salés et sulfatés acides salés de Lac Tanma.

Points d'observation	SOL (Extrait 1/5)		NAPPES			M. leucadendron		
	pH	C.E (25°C)	Profondeur (cm)	pH	C.E (25°C)	Mort. (%)	H. moy. (cm)	C. moy (cm)
P28	8	0,4	330	7	37	0	420	34,2
P29	8,1	0,3	260	7,2	50	100	-	-
P30	8,6	0,1	260	6,9	44	100	-	-
P31	8,3	0,5	250	7,3	35	100	-	-
P32	7,6	0,2	200	7,1	27,9	48,5	520	34,7
P33	7,6	0,4	310	6,8	43	100	-	-
P34	7,6	0,4	260	7,3	35	100	-	-
P35	7,3	0,3	280	6,6	15,5	0	630	34,5
P36	7,8	0,3	250	7,8	3,3	0	900	52
P37	8,1	0,6	200	7,4	15,6	0	910	51,2
P38	7,9	0,6	230	6,9	40	100	-	-
P39	7,5	0,8	200	7,1	21	0	770	39,8
P40*	8,0	0,3	340	7	32	46	12-14 m	40,2
P41*	8,1	0,3	310	6,8	33	47,6	14-17 m	48,9
P42*	7,6	0,3	260	7,3	31,1	100	-	-
P43*	7,6	0,3	260	7,8	34	100	-	-

* Eucalyptus camaldulensis.

Tableau 8.4: Mortalité des reboisement sur sols salés et sulfatés acides salés de MBoro.

Points d'observation	SOL (Extrait 1/5)			NAPPES			M. leucadendron		
	Humidité (%)	pH	C.E (25°C)	Profondeur (cm)	pH	C.E (25°C)	Mort. (%)	H. moy. (cm)	C. moy (cm)
P44	8	6,3	2,5	380	6,5	35	75,6	650	36,5
P45	15	5,2	0,4	200	6,8	1,9	0	12 m*	67,1
P46	10	7,7	3,3	273	6,8	23,5	61	450	29,7
P47	6	6	7,6	300	7,4	38	100	-	-

* mètres.

Tableau 8.5: Humidité pH et CE (20 °C) des différents horizons du sol (Ngan).

Echantillons	Profondeur (cm)	Humidité	pH - Sol	CE (20°C) (mmhos/cm) (Ext. 1/5)
1	0 - 30	11,0	5,3	0,4
2	30 - 60	15,0	5,3	0,4
3	60 - 90	17,3	5,5	0,8
4	90 - 120	18,4	5,7	1,1
5	120 - 150	19,3	6,2	1,1
6	0 - 30	2,4	5,6	0,2
7	30 - 60	2,5	5,5	0,2
8	60 - 90	2,5	4,9	0,2
9	90 - 120	5,3	4,4	0,2
10	120 - 150	8,3	3,7	0,7
11	0 - 30	2,3	5,1	0,3
12	30 - 60	5,0	4,9	0,6
13	60 - 90	15,3	4,6	0,8
14	90 - 120	14,2	4,9	1,2
15	120 - 150	16,2	5,3	1,1
16	0 - 30	3,7	4,3	0,6
17	30 - 60	3,2	4,5	0,7
18	60 - 90	6,4	4,5	1,0
19	90 - 120	8,4	4,5	1,0
20	120 - 150	14,8	4,8	1,1
21	0 - 30	3,7	4,9	0,1
22	30 - 60	3,2	4,9	0,2
23	60 - 90	6,4	4,6	0,3
24	90 - 120	8,4	4,0	0,7
25	120 - 150	14,8	3,9	1,0
26	0 - 30	2,7	5,0	0,04
27	30 - 60	5,2	5,1	0,03
28	60 - 90	8,0	4,7	0,03
29	90 - 120	11,2	4,1	1,10
30	120 - 150	17,3	4,6	1,20
31	0 - 30	0,8	4,5	0,7
32	30 - 60	3,2	4,7	0,4
33	60 - 90	6,2	4,7	0,4
34	90 - 120	13,3	4,0	1,4
35	120 - 150	17,5	4,0	1,3
36	0 - 30	1,6	4,4	0,1
37	30 - 60	2,9	5,4	0,6
38	60 - 90	10,4	5,0	1,5
39	90 - 120	10,6	5,6	1,6
40	120 - 150	12,0	5,6	1,6
41	0 - 30	2,3	6,0	11,0
42	30 - 60	2,2	4,9	7,8
43	60 - 90	3,0	4,1	13,0
44	90 - 120	4,5	4,1	7,3

45	0 - 30	2,4	3,9	12,0
46	30 - 60	2,5	4,2	8,3
47	60 - 90	6,8	4,0	8,4
48	90 - 120	8,3	3,7	8,5
49	0 - 30	1,5	4,1	3,8
50	30 - 60	3,0	4,4	1,5
51	60 - 90	7,9	3,9	2,2
52	90 - 120	9,1	3,8	1,9
53	120 - 150	11,0	3,8	2,0
54	0 - 30	2,4	5,6	0,03
55	30 - 60	2,5	4,8	0,1
56	60 - 90	3,3	4,6	0,1
57	90 - 120	6,0	4,7	0,4
58	120 - 150	8,3	4,0	
59	0 - 30	7,2	4,7	1,5
60	30 - 60	5,8	4,8	0,4
61	60 - 90	5,7	4,8	0,1
62	90 - 120	4,5	4,7	0,3
63	0 - 30	1,5	5,7	0,04
64	30 - 60	3,5	4,3	0,3
65	60 - 90	9,1	4,6	0,4
66	90 - 120	7,9	4,0	0,7
67	120 - 150	9,0	2,7	2,6
68	0 - 30	2,8	4,2	0,9
69	30 - 60	9,8	4,8	0,5
70	60 - 90	11,0	4,2	1,3
71	90 - 120	16,0	4,1	1,6
72	0 - 30	2,3	4,9	0,3
73	30 - 60	12,2	4,3	0,6
74	60 - 90	15,3	4,1	1,6
75	90 - 120	14,2	3,9	1,8
76	0 - 30	1,8	4,6	0,4
77	30 - 60	4,7	4,8	0,3
78	60 - 90	3,6	4,4	0,8
79	90 - 120	9,1	4,1	1,4
80	0 - 30	2,3	4,1	1,1
81	30 - 60	3,4	4,4	0,7
82	60 - 90	4,7	4,2	0,4
83	90 - 120	10,5	3,6	1,7
84	120 - 150	14,1	3,4	1,8
85	0 - 30	6,2	4,4	1,9
86	30 - 60	10,3	4,3	0,9
87	60 - 90	21,8	4,3	1,3
88	90 - 120	21,7	4,3	1,4
89	120 - 150	23,0	4,0	1,6
90	0 - 30	2,7	4,6	1,4
91	30 - 60	5,9	5,1	0,3
92	60 - 90	8,6	4,9	0,5
93	90 - 120	13,0	4,5	0,9
94	120 - 150	17,9	4,1	1,3

Tableau 10.1: Taux de survie moyen (%) des espèces à l'âge de 4 mois sur sols sulfatés acides (Ngan).

ESPECES	BLOCS										Moyenne	E. type	Classement des espèces
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10			
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	100	100	100	100	100	67	100	100	100	100	97	10,5	12
<i>Melaleuca leucodendron</i>	100	100	100	100	100	78	100	100	100	100	98	7	6
<i>Melaleuca quinquinervia</i>	100	100	100	89	100	67	100	78	100	100	92	12,9	10
<i>Melaleuca viridiflora</i>	100	100	100	100	100	100	89	100	100	100	99	3,5	3
<i>Melaleuca acacioides</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0,0	1
<i>Casuarina equisetifolia</i>	100	100	100	78	89	89	100	100	89	100	95	7,9	8
<i>Casuarina glauca</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0,0	1
<i>Prosopis juliflora</i>	100	100	100	89	100	100	100	100	100	100	99	3,5	3
<i>Albizia lebbek</i>	100	100	100	100	89	67	100	78	78	100	90	12,2	11
<i>Acacia seyal</i>	100	100	100	100	100	78	100	100	100	100	98	7	6
<i>Parkinsonia aculeata</i>	100	100	100	100	100	89	100	100	100	100	99	3,5	3
<i>Tamarix senegalensis</i>	100	100	100	100	89	100	100	78	100	100	97	7,4	8
Moyenne	100	100	100	95	96	86	99	95	97	100	98		
Ecart-type	0,0	0,0	0,0	8,9	7,2	14,4	3,2	10	6,9	0,0	3,2		
Classement des blocs	1	1	1	8	7	10	5	9	6	1			

Tableau 10.2: Taux de survie moyen (%) des espèces à l'âge de 11 mois sur sols sulfatés acides (Ngan).

ESPECES	BLOCS										Moyenne	E. type	Classement des espèces
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10			
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	78	100	100	100	100	44	56	44	56	67	75	24,0	9
<i>Melaleuca leudendron</i>	89	100	100	100	100	78	89	78	89	100	89	16,9	5
<i>Melaleuca quinquinervia</i>	89	100	100	89	100	33	89	56	89	89	90	16,9	3
<i>Melaleuca viridiflora</i>	100	100	100	100	100	89	89	100	100	100	95	7,9	2
<i>Melaleuca acacioides</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0,0	1
<i>Casuarina equisetifolia</i>	33	67	56	78	67	33	22	78	0	0	43	29,9	12
<i>Casuarina glauca</i>	100	100	78	67	89	33	89	67	100	89	73	26,8	10
<i>Prosopis juliflora</i>	56	78	100	67	67	78	100	98	100	100	82	16,7	6
<i>Albizia lebbek</i>	100	100	55,6	44,4	55,6	33,3	33,3	33,3	44,4	33	53,3	26,1	11
<i>Acacia seyal</i>	89	33	44	100	89	78	89	44	100	89	76	25	8
<i>Parkinsonia aculeata</i>	100	100	100	78	78	44	100	89	100	100	89	18,2	4
<i>Tamarix senegalensis</i>	100	44	78	89	89	78	100	67	78	100	82	17,6	7
Moyenne	85	85	84	84	80	55	78	65	75	77	79		
Ecart-type	20,8	24,3	21,4	18,4	15,6	29,4	27,2	29,5	33,9	32,3	16,7		
Classement des blocs	1	1	1	4	5	10	6	9	8	7			

Tableau 10.3: Taux de survie moyen (%) des espèces à l'âge de 23 mois sur sols sulfatés acides (Ngan).

ESPECES	BLOCS										Moyenne	E. type	Classement des espèces
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10			
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	78	100	100	100	100	44	56	22	56	67	72	27,8	8
<i>Melaleuca leuodendron</i>	89	100	100	78	89	78	78	78	78	89	82	15,9	4
<i>Melaleuca quinquinervia</i>	89	100	100	67	67	0	67	0	0	56	55	40,4	10
<i>Melaleuca viridiflora</i>	100	100	100	100	100	89	89	100	89	100	97	5,4	2
<i>Melaleuca acacioides</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0,0	1
<i>Casuarina equisetifolia</i>	33	67	56	67	67	33	22	67	0	0	41	27,3	12
<i>Casuarina glauca</i>	100	89	78	22	56	33	89	67	100	89	73	27,8	7
<i>Prosopis juliflora</i>	56	67	100	67	56	67	100	78	100	100	79	19,2	6
<i>Albizia lebbek</i>	100	100	0	44	44	33	33	11	44	33	47	33,7	11
<i>Acacia seyal</i>	89	33	44	78	100	78	89	44	89	78	72	23,0	8
<i>Parkinsonia aculeata</i>	100	100	56	78	78	33	100	89	100	100	83	23	3
<i>Tamarix senegalensis</i>	100	44	78	89	89	78	100	67	78	100	82	23,1	4
Moyenne	86	83	77	77	79	53	77	60	70	76	74		
Ecart-type	21,3	24,4	31,9	15,3	20,3	29,3	27,0	33,7	37	32,1	18,2		
Clasement des blocs	1	2	4	4	3	10	4	9	8	7			

Tableau 10.4: Taux de survie moyen (%) des espèces à l'âge de 28 mois sur sols sulfatés acides (Ngan).

ESPECES	BLOCS										Moyenne	E. type	Classement des espèces
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10			
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	78	100	100	100	100	44	56	22	22	67	69	31,8	5
<i>Melaleuca leudendron</i>	89	100	100	78	89	78	78	78	78	89	83	9,1	3
<i>Melaleuca quinquinervia</i>	78	89	100	67	67	0	67	0	0	56	52	38,2	9
<i>Melaleuca viridiflora</i>	100	100	100	100	100	89	89	89	100	100	97	5,3	2
<i>Melaleuca acacioides</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0,0	1
<i>Casuarina equisetifolia</i>	33	67	56	67	67	22	22	56	0	0	39	27,1	11
<i>Casuarina glauca</i>	89	89	67	22	56	33	78	56	100	89	68	25,9	7
<i>Prosopis juliflora</i>	44	44	44	56	56	67	100	79	56	100	65	21,5	8
<i>Albizia lebbek</i>	100	67	0	11	44	11	11	0	44	33	32	32,5	12
<i>Acacia seyal</i>	11	11	44	78	89	67	89	22	78	67	56	31,2	10
<i>Parkinsonia aculeata</i>	100	11	11	78	78	33	89	89	100	100	69	35,3	5
<i>Tamarix senegalensis</i>	100	44	44	22	89	67	100	67	78	100	71	27,5	4
Moyenne	77	70	68	65	78	51	73	55	63	75	67		
Ecart-type	30,6	33,9	32	31,5	19,5	31,7	29,8	35,4	38,4	32,2	20,5		
Classement des blocs	2	5	6	7	1	10	4	9	8	3			

Tableau 10.5: Taux de survie moyen (%) des espèces à l'âge de 33 mois sur sols sulfatés acides (Ngan).

ESPECES	BLOCS										Moyenne	E.type	Classement des espèces
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10			
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	78	100	100	100	100	44	56	22	11	44	66	34,5	5
<i>Melaleuca leudendron</i>	78	100	100	78	78	78	78	78	78	89	80	15,6	3
<i>Melaleuca quinquinervia</i>	78	89	100	67	67	0	67	0	0	56	56	39,7	8
<i>Melaleuca viridiflora</i>	100	100	100	100	100	89	89	89	100	100	95	7,9	2
<i>Melaleuca acacioides</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0,0	1
<i>Casuarina equisetifolia</i>	0	22	22	22	22	0	0	0	0	0	9	11,5	12
<i>Casuarina glauca</i>	89	89	33	22	56	33	78	33	100	89	62	29,7	7
<i>Prosopis juliflora</i>	11	33	11	22	56	67	100	67	44	100	51	32,8	9
<i>Albizia lebbek</i>	67	67	0	11	44	11	0	0	33	11	24	26,7	11
<i>Acacia seyal</i>	11	11	44	78	89	56	78	22	33	67	49	29	10
<i>Parkinsonia aculeata</i>	100	11	11	78	78	33	89	89	89	100	68	35,4	4
<i>Tamarix senegalensis</i>	100	22	44	22	89	56	100	67	56	100	66	30,8	5
Moyenne	77	62	55	58	75	48	71	52	60	79	61		
Ecart-type	27	38,7	41,4	35,6	17,7	29	31,6	35,3	35,9	28,8	26,1		
Classement des blocs	2	5	8	7	3	10	4	9	6	1			

Tableau 10.6: Taux de survie moyen (%) des espèces à l'âge de 8 mois sur sols salés alcalins (Fatick).

ESPECES	Bloc 11	Bloc 12	Bloc 13	Moyenne	Classement
Balanites aegyptiaca	100	100	100	100	1
Casuarina equisetifolia	100	100	100	100	1
Combretum glutinosum	100	96	76	91	13
Eucalyptus microtheca	100	100	100	100	1
Tamarix senegalensis	100	96	72	89	14
Melaleuca viridiflora	100	100	96	99	8
Acacia seyal	100	100	92	97	11
Parkinsonia aculeata	100	100	100	100	1
Eucalyptus camaldulensis	100	100	100	100	1
Prosopis juliflora	100	100	100	100	1
Prosopis chilensis	100	100	96	99	8
Melaleuca quinquineria	100	100	96	99	8
Melaleuca leucadendron	100	100	100	100	1
Albizia lebbek	100	100	84	95	12
Moyenne	100	99	94	98	
Ecart-type	0,0	1,5	9,5	3,6	
Classement des blocs	1	2	3		

Tableau 10.7: Taux de survie moyen (%) des espèces à l'âge de 14 mois sur sols salés alcalins (Fatick).

ESPECES	Bloc 11	Bloc 12	Bloc 13	Moyenne	Classement
Balanites aegyptiaca	100	100	96	99	2
Casuarina equisetifolia	100	100	60	87	8
Combretum glutinosum	92	72	72	79	12
Eucalyptus microtheca	100	100	80	93	1
Tamarix senegalensis	100	96	88	95	6
Melaleuca viridiflora	100	100	92	97	4
Acacia seyal	100	96	92	96	5
Parkinsonia aculeata	100	100	60	87	8
Eucalyptus camaldulensis	100	100	44	81	11
Prosopis juliflora	100	100	100	100	1
Prosopis chilensis	100	100	96	99	2
Melaleuca quinquineria	100	96	24	73	14
Melaleuca leucadendron	100	100	56	85	10
Albizia lebbek	92	72	72	79	12
Moyenne	99	95	74	89,3	
Ecart-type	2,9	9,9	22,6	8,9	
Classement des blocs	1	2	3		

Tableau 10.8: Taux de survie moyen (%) des espèces à l'âge de 27 mois sur sols salés alcalins (Fatick).

ESPECES	Bloc 11	Bloc 12	Bloc 13	Moyenne	Classement
<i>Balanites aegyptiaca</i>	100	96	80	92	4
<i>Casuarina equisetifolia</i>	80	76	48	68	12
<i>Combretum glutinosum</i>	92	64	56	71	11
<i>Eucalyptus microtheca</i>	100	96	76	91	6
<i>Tamarix senegalensis</i>	100	96	80	92	4
<i>Melaleuca viridiflora</i>	96	92	84	91	6
<i>Acacia seyal</i>	96	92	92	93	3
<i>Parkinsonia aculeata</i>	92	80	64	79	8
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	100	100	32	77	10
<i>Prosopis juliflora</i>	100	100	100	100	1
<i>Prosopis chilensis</i>	100	100	96	99	2
<i>Melaleuca quinquervia</i>	88	84	28	67	13
<i>Melaleuca leucadendron</i>	100	100	36	79	8
<i>Albizia lebbek</i>	60	60	48	56	14
Moyenne	93	88,3	65,7	82,5	
Ecart-type	11,3	13,5	24,5	13,5	
Classement des blocs	1	2	3		

Tableau 10.9: Taux de survie moyen (%) des espèces à l'âge de 30 mois sur sols salés alcalins.

ESPECES	Bloc 11	Bloc 12	Bloc 13	Moyenne	Classement
Balanites aegyptiaca	96	96	76	89	6
Casuarina equisetifolia	80	72	48	67	11
Combretum glutinosum	92	56	48	65	13
Eucalyptus microtheca	100	96	76	91	5
Tamarix senegalensis	100	96	80	92	4
Melaleuca viridiflora	96	92	80	89	6
Acacia seyal	96	92	92	93	3
Parkinsonia aculeata	92	80	64	79	8
Eucalyptus camaldulensis	100	100	28	76	10
Prosopis juliflora	100	100	100	100	1
Prosopis chilensis	100	100	96	99	2
Melaleuca quinquinervia	88	84	28	67	11
Melaleuca leucadendron	100	100	36	79	8
Albizia lebbek	60	56	44	53	14
Moyenne	93	87	64	81,4	
Ecart-type	11,1	15,6	25,1	14,3	
Classement des blocs	1	2	3		

Tableau 10.10: Taux de survie moyen (%) des espèces à l'âge de 37 mois sur sols salés alcalins (Fatick).

ESPECES	Bloc 11	Bloc 12	Bloc 13	Moyenne	Classement
Balanites aegyptiaca	96	96	60	84	7
Casuarina equisetifolia	80	72	48	67	10
Combretum glutinosum	88	40	32	51	13
Eucalyptus microtheca	100	96	64	87	6
Tamarix senegalensis	100	96	80	92	3
Melaleuca viridiflora	100	92	80	91	5
Acacia seyal	96	92	88	92	3
Parkinsonia aculeata	84	64	48	65	11
Eucalyptus camaldulensis	100	96	28	75	8
Prosopis juliflora	100	100	100	100	1
Prosopis chilensis	100	100	96	99	2
Melaleuca quinquinervia	72	64	28	55	12
Melaleuca leucadendron	92	88	40	73	9
Albizia lebbek	60	44	40	48	14
Moyenne	91	81,4	59	77	
Ecart-type	12,5	20,8	25,4	17,5	
Classement des blocs	1	2	3		

Tableau 10.10: Taux de survie moyen (%) des espèces à l'âge de 37 mois sur sols salés alcalins (Fatick).

ESPECES	Bloc 11	Bloc 12	Bloc 13	Moyenne	Classement
Balanites aegyptiaca	96	96	60	84	7
Casuarina equisetifolia	80	72	48	67	10
Combretum glutinosum	88	40	32	51	13
Eucalyptus microtheca	100	96	64	87	6
Tamarix senegalensis	100	96	80	92	3
Melaleuca viridiflora	100	92	80	91	5
Acacia seyal	96	92	88	92	3
Parkinsonia aculeata	84	64	48	65	11
Eucalyptus camaldulensis	100	96	28	75	8
Prosopis juliflora	100	100	100	100	1
Prosopis chilensis	100	100	96	99	2
Melaleuca quinquinervia	72	64	28	55	12
Melaleuca leucadendron	92	88	40	73	9
Albizia lebbek	60	44	40	48	14
Moyenne	91	81,4	59	77	
Ecart-type	12,5	20,8	25,4	17,5	
Classement des blocs	1	2	3		

Analysis of variance procedure NGAN

1. Essais de Ngan (1985)

Class level information

Class	Levels	Values											
Bloc	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Espec	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temps	3	4	23	39									

Number of observations in data set: 360

Dependent variable: TS

Source	DF	Sum of squares	Mean square	F value
Model	161	296547.51388889	1841.91002415	5.86
Error	198	62212.81666667	314.20614478	PR > F
Corrected total	359	358760.33055556		0.0001

R-square	C.V.	Root MSE	TS Mean
0.826589	23.3653	17.72586090	75.86388889

Source	DF	Anova SS	F Value	PR > F
Bloc	9	14651.69166667	5.18	0.0001
Espec	11	69283.69722222	20.05	0.0001
Temps	2	93813.33888889	149.29	0.0
Bloc*espec	99	70702.94166667	2.27	0.0001
Bloc*temps	18	8653.05000000	1.53	0.0827
Espec*temps	22	39442.79444444	5.71	0.0001

2. Essais de Fatick (1985)

Class level information

Class	Levels	Values													
Bloc	3	1	2	3											
Espec	14	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Temps	3	4	26	40											

Number of observations in data set: 126

Dependent variable: TS

Source	DF	Sum of squares	Mean square	F value
Model	73	52176.76190476	714.75016308	7.60
Error	52	4892.95238095	94.09523810	PR > F
Corrected total	125	57069.71428571		0.0001

R-square	C.V.	Root MSE	TS Mean
0.914264	11.4958	9.70027000	84.38095238

Source	DF	Anova SS	F Value	PR > F
Bloc	2	11433.90476190	60.76	0.0001
Espec	13	12803.04761905	10.47	0.0001
Temps	2	9774.47619048	51.94	0.0001
Bloc*espec	26	6187.42857143	2.53	0.0022
Bloc*temps	4	3299.04761905	8.77	0.0001
Espec*temps	26	8678.85714286	3.55	0.0001

3. Comparaison des espèces dans les deux sites

Class level information

Class	Levels	Values
Bloc	13	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13
Espec	10	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Temps	3	4 23 39

Number of observations in data set: 390

Dependent variable: TS

Source	DF	Sum of squares	Mean square	F value
Model	173	303410.03333333	714.75016308	7.60
Error	216	67138.04102564	94.09523810	PR > F
Corrected total	389	370548.07435897		0.0001

R-square	C.V.	Root MSE	TS Mean
0.818814	23.2533	17.63020885	75.81794872

Source	DF	Anova SS	F Value	PR > F
Bloc	12	31069.70769231	8.33	0.0001
Espec	9	50978.17692308	18.22	0.0001
Temps	2	100711.66666667	162.01	0.0
Bloc*espec	108	75712.18974359	2.26	0.0001
Bloc*temps	24	16473.60000000	2.21	0.0001
Espec*temps	18	28464.69230769	5.09	0.0001

CURRICULUM VITAE

L'auteur est né en 1956 à Djibanar (Sénégal) dans l'ex-région de Ziguinchor (Casamance). Après ses études secondaires de 1968 à 1975 au Lycée Djignabo de Ziguinchor, d'où il a obtenu un *Baccalauréat, série D: Sciences expérimentales et mathématiques*, avec la mention "Assez Bien", il entame une brillante carrière d'études supérieures. Cette carrière, l'a conduit au Maroc, de 1975 à 1979 à l'Institut Agronomique Hassan" d'où il obtient un *Diplôme d'Ingénieur des Eaux et Forêts* à l'Ecole forestière de Rabat-Salé. Puis de 1979 à 1982 il entreprend un troisième cycle à l'Université de Nancy I, Faculté des Sciences (France)-CNRS/Pédologie Biologique, d'où il obtient un Diplôme d'Etudes Approfondies (D.E.A.) en Agro-Eco-Pédologie en 1980, et une Thèse de *Docteur-Ingénieur en Pédologie*, avec une mention Très Honorable avec félicitation du Jury, en 1982.

Depuis lors, il mène des recherches à l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA) et à l'Institut Français de Recherches Scientifiques et Techniques pour le Développement en Coopération (ORSTOM), principalement sur la Connaissance et l'Utilisation forestière des Sols salés et Sols sulfatés acides du Sénégal. Entre'autres, il est chargé de la coordination scientifique au Département des Recherches sur la Production Forestière (DRPF/ISRA), et est conseiller Technique à la Direction de la Conservation des sols et du Reboisement (DCSR/MPN).

ORSTOM Éditeur
Dépôt légal : juin 1991
Impression
ORSTOM BONDY

Editions de l'ORSTOM
72, route d'Aulnay 93143 BONDY Cedex
ISBN : 2-7099-1039-X