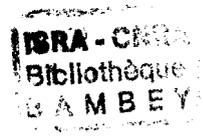


CN0100489
P320
BEV

1979-72

GB/AD
REPUBLIQUE DU SENEGAL
PRIMATURE

SECRETARIAT D'ETAT
A LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE



LES SOLS HYDROMORPHES DE L'AFRIQUE DE L' OUEST :
APTITUDES ET CONTRAINTES DANS LEUR UTILISATION.

G. B&ye
Pédologue

Chef du Département Agronomie, Du climatologie
de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA)

COMMUNICATION A LA CONFERENCE DE L'IITA
"SOILS AND CLIMATIC RESSOURCE6 AND CDNSTRAINTS
IN RELATION TO FOOD CROP PRODUCTION IN WEST AFRICA"

October - 15-19, 1979, Ibadan

C.N.R.A. - BAMBEY - S.D.I.	
Date	13/10/79
Numéro	060700
Mois Bulletin	0110
Destinataire	SR/Doc.

Octobre 1979

Centre National de Recherches Agronomiques
de Bambey

INSTITUT SENEGALAIS RE RECHERCHES AGRICOLES

S O M M A I R E

I - INTRODUCTION

- Définition
- Classification

II- GENESE DES SOLS HYDROMORPHES

- Importance du processus d'oxydo-réduction
- Hydromorphisme induit : cas des sols de rizière
- Le phénomène de ferrolyse

III- REPARTITION GEOGRAPHIQUE DES SOLS HYDROMORPHES

IV- LES PROPRIETES DES SOLS HYDROMORPHES ET LEURS CONTRAINTES

1 - Les propriétés physiques

- a - les conditions de drainage et d'hydromorphie
- b - la texture
- c - la structure

2 - Les propriétés chimiques

- a - L'azote
- b - le phosphore
- c - le potassium
- d - oligo-éléments et éléments mineurs
- e - les problèmes de toxicité

3 - Les propriétés biologiques

V - LES BESOINS DE RECHERCHES : QUELQUES SUGGESTIONS-

LES SOLS HYDROMORPHES DE L'AFRIQUE DE L'OUEST :
APTITUDES ET CONTRAINTES DANS
LEUR UTILISATION

G. Bèye
Pédologue

Chef du Département Agronomie et Bioclimatologie
de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (I.S.R.A.)

I - INTRODUCTION

Les sols hydromorphes d'après Aubert (1965) sont des sols dont les caractères sont dus à une évolution dominée par l'effet d'un excès d'eau par suite d'un engorgement temporaire de surface, de profondeur ou d'ensemble ou par suite de la présence ou de la remontée d'une nappe phréatique. Bien qu'ils constituent une classe à part dans la classification française, ils apparaissent dans la plupart des autres classes généralement au niveau du sous-groupe ou de la série. (Sols peu évolués d'apport à gley ou pseudo-gley, sols bruns calcaires hydromorphes, vertisols lithomorphes à large concrétion d'hydromorphie, sols bruns hydromorphes, sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes vertiques, sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes, sols faiblement ferrallitiques hydromorphes etc..).

Dans la classification USDA (Moormann 1978), ils ne constituent pas une classe à part, ils constituent des sous-classes et se retrouvent dans les Aquents, Aquepts et Ochrepts (Anthraquic et Aquic), de même que Aqualf et Aquults.

Au niveau de la classification FAO/UNESCO, ils peuvent être des dystrics gleysols, des fluvisols à gley, des vertisols, Acrisols à gley, Luvieols à gley ou Cambisols à gley (Moormann 1973).

Etant donné que l'hydromorphie apparaît secondairement dans la pédogénèse de la plupart des sols, notre exposé se limitera à ceux dont le processus de formation est dominé par l'eau. Il est certain que la qualité de cette eau peut avoir des conséquences sur la nature des sols, c'est le cas par exemple des sols halomorphes côtiers et sulfates acides. Dans ces cas aussi l'hydromorphisme devient secondaire par rapport à l'excès de sels ou d'acidité potentielle ou actuelle.

Notre propos se limitera donc aux sols dont l'évolution est dominée par un excès d'eau généralement douce.

Nous parlerons successivement de la genèse des sols hydromorphes de leur répartition géographique, de leurs propriétés et contraintes pour la production agricole et enfin des besoins de recherches pour le futur.

II * GENESE DES SOLS HYDROMORPHES

Le processus de formation des sols hydromorphes nécessite une saturation permanente ou temporaire du profil avec de l'eau. Un des effets les plus immédiats de cette saturation est la restriction des processus normaux d'échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère. L'importance de ce phénomène est évidemment en relation avec la vitesse de diffusion, des gaz dans l'air et dans l'eau. Cette relation est matérialisée par l'équation suivante :

$$V = - aD \left(\frac{T_0}{T} \right)^2 \frac{dp}{dl}$$

où (a) est le facteur de porosité, (D) le coefficient de diffusion, (%) le gradient de pression et (T) la température absolue.

Pour l'oxygène (et les autres gaz atmosphériques) cette vitesse est insignifiante dans l'eau et explique donc sa réduction dans le sol submergé. Le stock d'oxygène piégé dans le sol après inondation est épuisé par les microorganismes au bout de 48 heures environ. Ponnamperuma (1972a) indique que Evans et Scott ont constaté que la concentration en oxygène de l'eau utilisée pour saturer un sol diminuait à 1/100 de sa valeur initiale en 75 minutes ; Takai et ses collaborateurs n'ont pas trouvé d'oxygène dans 3 sols après 1 jour de submersion etc...

Ainsi les conditions anaérobies se développent progressivement. En effet après l'épuisement de l'oxygène, les microorganismes aérobis meurent ou deviennent quiescents, tandis que prolifèrent les microorganismes anaérobis facultatifs d'abord puis obligatoires ensuite, qui utilisent les composés oxydés comme accepteurs d'électrons. Les nitrates, le bioxyde de manganèse, les oxydes de fer sont successivement réduits (Ponnamperuma & al 1967).

Le phénomène d'hydromorphie est donc inséparable du processus d'oxydoréduction du sol. Vizier (1971) a fait une excellente bibliographie sur l'état d'oxydoréduction du sol et ses conséquences sur la dynamique du fer dans les sols hydromorphes. Comme il l'indique, l'étude de la dynamique du potentiel d'oxydoréduction dans le temps doit permettre d'établir un régime des phénomènes d'oxydation et de réduction dans le sol.

Pendant la période de saturation, les composés oxydés sont réduits avec comme conséquence une plus grande solubilité et un changement de couleur généralement gris (gris bleu ou gris vert dans le cas des gleys avec engorgement permanent ou gris barriolé de rouille, ocre ou jaune dans le cas du pseudogley à engorgement temporaire et partiel). Les produits réduits et en particulier le fer, sont facilement réoxydés dès que le potentiel d'oxydoréduction augmente. Cette augmentation se produit en général quand le sol se dessèche et que la circulation de l'air se rétablit. Cette réoxydation donne des produits peu mobiles dans le sol exp. les oxydes de fer précipitent. La pédogénèse des sols hydromorphes est donc sous la dépendance directe de l'état d'oxydoréduction du sol ou du potentiel rédox qui mesure la force d'un système oxydoréducteur donné (Ponnamperuma 1972 a). Le potentiel rédox (Eh) est positif et élevé dans les conditions fortement oxydées et négatif et bas dans les conditions réductrices.

D'après Ponnamperuma (1978) les facteurs essentiels pour la baisse du Eh sont : les composés organiques facilement décomposables en quantité élevée, une température supérieure à 30°C, teneurs moyennes en fer actif. Un Eh bas augmente les teneurs en fer ferreux, grâce à la re-

$$Eh = 1,06 - 0,59 \text{ LogFe}^{2+} - 0,177 \text{ pH}$$

d'après Vizier (1970), cette réduction du fer intervient pour une durée de saturation minimum de 3 à 60 jours et une valeur du Eh inférieure à 325 à 420 mv.

L'autre volet de la restriction des échanges gazeux est l'accumulation des gaz produits dans le sol. Les concentrations en gaz carbonique en particulier s'accroissent très rapidement dans les 2 premières semaines qui suivent l'inondation. Cette augmentation de la pression de CO₂ est d'autant plus importante que les conditions du milieu sont favorables à l'activité biologique. L'expérimentation a montré que l'incorporation d'une matière organique, riche en carbone et facilement décomposable provoquait un important accroissement des teneurs en CO₂.

La submersion augmente aussi le pH des sols acides et baisse celui des sols à alcalis (Ponnaapcruma 1965).

L'engorgement des sols peut évidemment être naturel ou provoqué artificiellement par l'irrigation comme c'est le cas des sols de rizière. La submersion des sols de rizières, terme générique et non taxonomique, conduit habituellement au développement des caractères d'hydromorphie dans les horizons de surface et sous-jacents. Ceci a amené les auteurs japonais en particulier Kanno (1956, 1962) à créer dans leur classification une catégorie de sols appelés sols hydromorphes artificiels ou sols minéraux de rizières (Moormann 1970). Kanno (1978) qui a étudié la genèse des horizons génétiques de ces sols, indique que les plus importants processus de pédogenèse sont influencés par les conditions rédox du sol, la mobilisation des éléments minéraux et organiques, les changements de propriétés physiques, chimiques et microbiologiques du fait de l'irrigation ou du drainage ou des 2 à la fois. En d'autres termes la gleyification, l'éluviation, la formation des taches de fer ou de manganèse ou de couleur grise, de semelle de labour, la néoformation d'argile ou la dégradation des argiles, la formation de "outans", la redistribution des bases échangeables, l'accumulation et l'altération de la matière organique et d'autres processus conduisent à la différenciation d'un profil de sol de rizière (voir figure 3).

Brinkmann (1970 - 1978) décrit un autre processus appelé ferrolyse pour la formation des sols hydromorphes. Dans les sols acides saisonnièrement engorgés, le processus se déroule comme suit : pendant la saison humide, la réduction des oxydes de fer produit du fer ferreux dissous, qui déplace et mobilise les bases échangeables. Ces bases (et le fer ferreux dissous) sont partiellement déplacés par lessivage. En saison sèche, l'oxydation du fer ferreux échangeable donne des oxydes ferriques et de l'hydrogène échangeable conduisant à une décomposition partielle de l'argile et libération d'aluminium et de la silice. La neutralisation partielle de l'aluminium échangeable en même temps que la réduction des oxydes ferriques pendant la saison humide produit des hydroxydes inter-feuillets relativement stables de fer et d'aluminium dans les argiles de type 2/1, diminuant ainsi encore davantage la capacité d'échange de cation. La ferrolyse se limite principalement aux horizons de surface où la matière organique fraîche est apportée annuellement.

Brinkmann (1970), pense que la ferrolyse est un processus génétique majeur dans de nombreux sols actuellement assimilés aux pseudo-gley et explique la faiblesse anormale de la capacité d'échange et l'acidification des horizons de surface de certains sols hydromorphes soumis à une alternance d'engorgement et de dessiccation.

Il résulte de tout ce qui précède que les sols hydromorphes comprennent pratiquement ceux qui le sont naturellement du fait de leur position topographique ou du fait du mouvement d'une nappe phréatique et ceux qui comme les sols de rizières bien drainés, le deviennent du fait des caractères induits par une submersion soit artificielle soit naturelle et saisonnière comme l'irrigation ou l'inondation par les crues le long des axes fluviaux. Les sols des rizières et des marécages littoraux non salés, rentrent donc parfaitement dans la catégorie des sols hydromorphes.

Dans ce qui suit, on traitera donc indifféremment de ses différents types de sols hydromorphes.

III - REPARTITION GEOGRAPHIQUE DES SOLS HYDROMORPHES

Les sols hydromorphes ne sont pas liés à une zone climatique. On les retrouve dans les parties mal drainées des toposéquences de sol de l'Arctique à l'Equateur (Ponnamperuma 1972 b), En Afrique de l'Ouest, ils diminuent en importance lorsqu'on remonte vers les parties les plus sèches de la région. De tels sols se rencontrent dans les zones des terres basses et elle est fonction de la géomorphologie de l'endroit. On les trouve sur des grandes surfaces dans les bassins et vallées des principaux fleuves, deltas, basses terrasses du Sénégal, des Volta et du Niger et dans certaines régions côtières.

Dans le cadre des bassins fluviaux, la répartition des types de sols se fait en fonction des unités géomorphologiques, comme le montre la figure 2 (Durand et Michel 1978), sur Le Fleuve Sénégal. La pédogénèse dépend étroitement du modèle et de la submersion par les crues. Ainsi les hautes levées post-nouakchottiennes, finement sablonneuses, portent des sols peu évolués d'apport hydromorphes, les petites levées des sols hydromorphes à pseudogley et les levées subactuelles des associations de sols peu évolués et hydromorphes. Dans les cuvettes à sédimentation argileuse se sont formés des vertisols topomorphes ; les parties basses longtemps inondées, présentant des sols hydromorphes à gley.

La figure 3 donne une estimation des sols alluvionnaires qui sont constitués d'associations souvent complexes de sols peu évolués hydromorphes, de sols hydromorphes à pseudogley et à gley et de vertisols. Pour les grands fleuves ouest-africains, la superficie serait de 2,5 millions d'hectares. En bordure des côtes ouest-africaines se trouvent des sols de mangrove (sulfatés acides ou potentiellement sulfatés acides) imbriqués avec des sols salés et des marécages hydromorphes ; le pourcentage de chacun des types de sols étant difficiles à déterminer ; le total représente 6,5 millions d'hectares d'après nos propres estimations (Bèye 1971). Avec l'augmentation de la pluviométrie les sols halomorphes diminuent au profit des sols hydromorphes des marécages à graminées.

On retrouve aussi, en superficie moindre, des sols hydromorphes dans les bas-fonds disséminés dans toute la région. Ces petites zones atteignent dans leur totalité une superficie considérable et leur rôle au point de vue agricole, en particulier pour la riziculture est très important. Aucune évaluation globale de ces sols n'existe ni au niveau régional, ni au niveau des pays pris isolément.

Dans la littérature des indications assez fragmentaires existant on en fera sommairement la revue, par pays ; ces sols sont généralement cultivés un riz.

SENEGAL : Le long du Fleuve Sénégal on a montré plus haut la répartition des sols (Michel et Durant 1978). Dans la côte Nord Ouest, ou région des "Niayes", entre Saint-Louis et Dakar, il existe des dépressions interdunaires avec des sols hydromorphes à pseudogley et à gley (Durand 1973).

Dans la région du Cap.-Vert, sur matériaux soit de calcaire cristallin, massif, blanc, soit de marnes blanches et de marnes papyracées, se développent des sols hydromorphes à engorgement temporaire (Faure 1954). Ils sont riches en argile montmorillonitique qui est à l'origine de l'engorgement temporaire,

En Casamance on trouve des sols hydromorphes sur les terrasses basses et sur les pentes douces des vallées, ils sont colluviaux avec une nappe phréatique relativement élevée en saison des pluies, ils ont une texture grossière à limoneuse.

Dans les bas-fonds et vallées sur alluvions d'eau douce, on trouve des sols hydromorphes à gley, cultivés traditionnellement en riz, ils sont argileux et possèdent le meilleur potentiel dans la région.

Enfin dans l'estuaire de la Casamance se trouvent les sols sulfatés acides, salés de texture argiluse dont les facteurs limitants essentiels sont la forte acidité et la salinité élevée.

Au Sénégal-Oriental, Boaquier et Claisse (1963) trouvent dans la plaine alluviale de la Gambie et de la Koulountou soumise à une submersion périodique de durée et de hauteur variables, des sols qui évoluent à partir de matériaux alluviaux de texture fine, principalement sous l'action d'une hydromorphie temporaire de surface. Ce sont des sols alluviaux à pseudogley de surface qui se situent sur des pentes régulières faibles (1,5 %) reliant les replats exondés aux dépressions marécageuses. En bordure des dépressions avoisinant les replats exondés se différencient localement des sols hydromorphes à gley sous l'action d'une nappe phréatique à faibles fluctuations.

MALI : Bouyot et Dabin (1963), distinguent dans le delta central du Niger 3 types de sols hydromorphes : le type "Boi" des Bambaras, sols gris limono-argileux, très compacts à teneur moyenne en matière organique à réaction moyennement acide (pH 5,0 à 5,5), le type "Boiblé" de teinte rouge et le "Boifing", brun foncé, humifère, plus évolué à réaction fortement acide (pH 4,5 à 5,0).

Dans les vallées et les bas-fonds on trouve également des sols alluviaux hydromorphes et des vertisols,

SIERRA LEONE : En dehors des marécages à mangrove qui sont des sols potentiellement sulfatés acides, Moormann (1973), signale les marécages intérieurs qui sont des sols à gley, ils sont prometteurs pour la riziculture, ils demeurent suffisamment humides toute l'année pour supporter deux cultures de riz.

Les "Bois" du l'intérieur qui occupent des régions à inondation saisonnière, sont des sols à gley, considérés comme acides et pauvres, ils conviendraient à une riziculture mécanisée.

Dans les plaines alluviales inondées dans le Sud du pays le long des cours inférieurs de rivières Sewast Waanje, on rencontre des sols à gley avec une forte inondation où on cultive du riz flottant.

COTE D'IVOIRE : On rencontre de nombreux sols hydromorphes dans les bas-fonds et sur les alluvions des fleuves en particulier dans le centre et le Nord du pays. Ces sols sont utilisés pour la riziculture et récemment la canne à sucre.

GHANA : Dans la plaine d'Accra, dominent les vertisols qui sont l'objet d'une autre communication, mais ils sont aussi associés à des sols hydromorphes, dans la vallée de la Volta dominent les sols à gley et les sols alluviaux. Obeng (1968) a passé en revue les zones rizicultivables mécaniquement et a retenu entre autres les fluvisols et gleysols associés, les vertisols et les solonchaks à gley et solonets.

NIGERIA : ces sols hydromorphes sont nombreux, des sols à gley, sols alluviaux à gley. Singh et Balasubramanian (1978) indiquent que les sols hydromorphes (Fadama) sont dispersés dans toute la région de savane du Nigeria et ils occupent environ 7,3 % de la superficie totale. Ces sols sont riches en matière organique et en éléments minéraux. Ils sont utilisés pour la culture intensive du riz en saison des pluies et en culture irriguée de canne à sucre et de légumes en saison sèche.

HAUTE-VOLTA : Jenny (1965) signale des sols hydromorphes d'origine alluvionnaire qui ont une richesse chimique et une composition qui varient essentiellement d'après la composition de la zone d'origine du matériau et d'après le trajet parcouru, il en résulte qu'il est difficile de donner une description représentative des sols hydromorphes des bas-fonds.

Les sols hydromorphes de la zone schisteuse sont très riches en éléments fins, ont un potentiel chimique assez élevé ; dès qu'on quitte la zone d'action de la nappes autour du bas-fond on passe au vertisol.

Les sols hydromorphes des zones granitiques ou gréseuses sont plus grossiers et plus pauvres,

Une vaste zone formée d'alluvions limono-argileuse occupe la vallée du Sourou au nord du coude de la Volta noire. On y trouve dans les zones humides des sols hydromorphes à gley et pseudogley ayant un potentiel de fertilité élevé.

IV - LES PROPRIÉTÉS DES SOLS HYDROMORPHES ET LEURS CONTRAINTES

Dans ce chapitre seront prises en compte les propriétés physiques, chimiques et biologiques.

1/ - Les propriétés physiques : On étudiera les conditions de drainage et d'hydromorphie, la texture et la structure du sol.

a) - Les conditions de drainage et d'hydromorphie : L'engorgement est la propriété pédogénétique principale de ces sols. Son influence dépendra du type de spéculations adaptées. S'il s'agit d'une culture qui craint l'excès d'eau comme le maïs, le mil, l'arachide, le soja etc... ces sols poseront des problèmes d'asphyxie. Pour les utiliser il sera nécessaire de procéder à un assainissement.

Si la spéculations choisie est le riz, l'engorgement est un facteur favorable pour la réussite de la culture. Ceci a été démontré par Guilloboz (1973), Bertrand et Forest (1973) et Bertrand et al (1978) en Casamance au Sénégal, sur sols gris hydromorphes à pseudogley. Il existe un rapport étroit entre la profondeur de la nappe et la croissance et la production du riz.

Killian et Teissier (1972) au Nord du Bénin ont classé les sols en fonction du régime hydrologique de la nappe ; les meilleurs sols à riz sont ceux ayant un régime hydrologique de nappe phréatique peu profonde ou d'inondation.

S'agissant du riz irrigué ou de submersion, l'hydromorphie est un facteur favorable s'il n'y a pas d'autres phénomènes liés à une très forte réduction, en particulier dans les sols à gley.

b) - La texture : Elle est variable en fonction de l'origine du matériau et de la position topographique. Généralement les sols hydromorphes à gley des plaines alluviales et des vallées des grands fleuves sont argileux ou argilo-limoneux, mais en fonction de la geomorphologie, on y trouve souvent un complexe de sols aux textures variables. Ainsi au Sénégal les hautes levées post-Nouakchottiennes portent des sols peu évolués hydromorphes sableux, les petites levées des sols hydromorphes à pseudo gley argilo-limoneux à argileux, tandis que les cuvettes de sédimentation portent des vertisols topomorphes et les parties basses des sols hydromorphes à gley très argileux (voir figure 2).

Les sols hydromorphes des vallées intérieures sont également généralement de texture fine. Cependant la texture grossière est aussi souvent présente, par exemple en Casamance au Sénégal, la plus grande partie du riz est cultivée sur sol gris de nappe phréatique de texture sableuse.

La texture est un facteur important dans l'utilisation des sols hydromorphes. D'après Moormann (1973), à alimentation hydrique égale et composition minéralogique comparable, la texture est un facteur important de la classification des terres pour la riziculture.

Il cite Higging qui a montré dans le Nigeria du Nord une corrélation satisfaisante entre les niveaux de rendement du riz et la texture des sols. Les sols grossiers étant de productions plus faibles.

Cependant d'après le même auteur, les résultats obtenus à l'IITA semblent montrer que l'influence négative d'une texture sableuse peut être réduite en grande partie par l'apport d'engrais. Ces résultats sont confirmés par ceux obtenus en Casamance sur sols gris (Bertrand et al 1978).

c) - La structure : Les sols hydromorphes généralement présentant une structure bien développée, mais cette structure dépend de la texture et de la nature des argiles. Si la texture est sableuse, généralement la structure est mal développée. Cette structure a une importance variable en fonction de l'utilisation du sol, du type de culture. En culture sèche un travail profond du sol donne de bons résultats. Poulain (1972) signale sur riz, un effet favorable du labour profond fait aux boeufs ou tracteur à Saria en Haute Volta et il explique l'effet du labour par l'aération du sol et un meilleur enracinement. Au Sénégal un travail profond à 25-30 cm sur maïs sur sol argileux hydromorphe de la vallée du Fleuve Sénégal a donné de bons résultats.

Cependant pour la plupart des cultures un travail superficiel à 12-15 cm au rotavator pour la préparation du lit de semence suffit.

En riziculture submergée, les travaux réalisés au Sénégal aussi bien à la station de Fanaye qu'à celle de Djibélor n'ont montré aucun effet favorable du travail profond du sol. Dans les autres pays la littérature ne signale pas non plus d'effet positif.

2/ * Los propriétés chimiques : Les sols hydromorphes, comme indiqué au début de cette communication, se retrouvent dans les marécages et plaines alluvionnières des côtes ouest africaines, plaines inondables des principaux fleuves, bas-fonds mal drainés et vallées intérieures. Ces sols généralement argileux sont souvent fertiles et certains sont utilisés pour l'agriculture, surtout en riziculture aquatique. Ils reçoivent d'une façon régulière des apports; d'éléments nutritifs par les eaux d'inondation, les nappes phréatiques ou les eaux d'irrigation. Des quantités importantes d'éléments minéraux, particulièrement, K, Ca, Mg sont apportées par l'eau d'irrigation ou les nappes phréatiques.

On étudiera ci-après les teneurs en éléments nutritifs majeurs de ces sols et les contraintes particulières d'ordre chimique qu'ils recèlent.

a) * L'azote : Les teneurs en azote dépendent des types de sols et de leurs teneurs en matière organique, les sols sableux hydromorphes contiennent généralement peu d'azote. Bertrand et al (1978) donnent pour un sol gris de Casamance des teneurs de 0,03 à 0,11 % de N.

Dans les sols argileux les teneurs sont meilleures mais rarement fortes, sauf peut-être dans les sols des bas-fonds argileux à clay où la matière organique a tendance à s'accumuler.

Nous mêmes avons signalé (Bèye 1973 a) des teneurs d'azote total allant de 0,40% à 2,20 % en Casamance sur plusieurs types de sols hydromorphes des rizières de texture variable.

Mais d'une manière générale la fumure azotée constitue le pivot de toute fertilisation dans ces sols et en particulier pour la culture qui y est la plus pratiquée, le riz. Les essais de fertilisation en azote enregistrent presque partout des effets positifs sur les rendements (Bredere, 1965 ; Bouyer et Dabin (1963) ; Dumont et al (1967) ; Poulain (1972), etc..)

Au Sénégal que cela soit en Casamance ou dans la région du Fleuve, on trouve une réponse nette à l'azote, en particulier sur sol très argileux de la vallée ; elle est linéaire jusqu'à des doses très élevées (Coucy et al 1967).

Cependant sur les sols gris hydromorphes sableux à nappe phréatique proche de la surface, Bertrand et al (1978) signalent des rendements de riz supérieurs à 4 t/ha, en culture continue sans azote de couverture pendant 5 ans avec seulement une application au semis de 15 kg/ha de N, mais la nappe phréatique a des teneurs en nitrate de 150 mg/l à 600 mg/l.

Il n'y a pas de différence nette entre sulfate d'ammoniaque et urée sauf sur sol acide où l'urée a tendance à donner de meilleurs résultats. Quelle que soit la forme utilisée, le fractionnement est recommandé,

En sol hydromorphe et en particulier en submersion, les pertes en azote par dénitrification et volatilisation sont bien connues. Surtout quand il y a alternance d'oxydation et de réduction (Ponnamperuma 1965).

b) * Le phosphore : Les sols de l'Afrique de l'Ouest sont pour la plupart carencés en phosphore, surtout les sols de plateau. Les sols hydromorphes ne font pas exception à la règle. Cependant la texture et le type de matériau jouent un rôle important, c'est pourquoi la réponse à la fumure phosphatée n'a pas été aussi répandue que pour l'azote. Ceci provient certainement de la dynamique particulière du phosphore dans les sols engorgés. La réduction des sols augmente la solubilité du phosphore (Ponnamperuma 1965, 1972 a).

Des réponses n'ont pas été obtenues ou seulement après plusieurs années sur sol trhs argileux (Bredero (1965), Couey et al (1967), Traoré (1973), Pieri (1967)). Il s'agit généralement de sol à fort pouvoir fixateur.

Dans certains sols hydromorphes de texture argileuse à argilo-limonense ou limono-sableuse, des réponses spectaculaires ont été enregistrées, Bèye (1973 b) en Casamance, de même Poulain (1972) signale une carence généralisée en phosphore en Haute-Volta.

Les formules solubles se révèlent généralement les plus efficaces, comparées aux formes naturelles elles ont été partout supérieures, bien que ces dernières aient été efficaces dans la plupart des cas.

Le défaut de réponse au phosphore sur sols hydromorphes, cultivés en anaérobiose s'explique le plus souvent par la solubilisation des différentes formes du phosphore lié par suite des conductions réductrices. Les teneurs en phosphore des plantes sont d'ailleurs normales en cet élément même sans réponse. En effet sur les mêmes sols cultivés en conditions aérobies on enregistre souvent des réponses positives à l'apport de phosphore, Traoré (1973) signale un exemple édifiant à ce sujet : sur la station de Kogoni où sur riz irrigué aucun effet du phosphore n'a été trouvé sur les rendements alors que sur sorgho en culture sèche et cotonnier on enregistre une action hautement significative.

c) - La potassium : Les sols hydromorphes sont généralement assez bien pourvus en cet élément surtout quand ils sont argileux. C'est ce qui explique que la réponse à la fumure potassique est rare. La richesse intrinsèque des sols et les apports par les eaux d'irrigation peuvent en être les causes. Cependant une culture intensive sans restitution organique appauvrit rapidement ces sols et conduit à une réponse à la fumure potassique (Bèye 1974).

Sur sol sableux, la réponse est beaucoup plus fréquente. Bertrand & al (1978) enregistrent une réponse positive sur sol gris hydromorphe sableux et le fractionnement donne un surcroît de rendement de 1t/ha comparé à une application unique au semis.

Will (1970) a obtenu aussi quelques réponses en Sierra Leone avec une meilleure application à la floraison,

d) - Les oligo-éléments et les éléments mineurs : très peu d'études ont été consacrées à ce sujet, mais les sols hydromorphes en sont rarement déficients. Cependant la culture intensive avec utilisation des engrais concentrés favorise l'apparition de plus en plus de déficiences. Bouyot et Dabin (1963) signalant la carence en magnésium sur sol "DIAN" dans le delta central du Niger.

Des symptômes de déficience en zinc ont été observés sur riz aquatique cultivé sur vertisol dans la région du Lac Tchad, Kang (1973), Kang et Okoro (1976).

e) - Les problèmes de toxicité : Un des résultats de l'enfermement comme signalé plus haut, est d'arrêter les échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère et l'accumulation des produits de réduction. Ces produits proviennent de l'activité des micro-organismes qui, en condition d'anaérobiose, à défaut d'oxygène libre, utilisent celui des composés oxydés du sol tels que : nitrate, bioxyde de manganèse, oxyde de fer, sulfate et même les produits du métabolisme de la matière organique, comme accepteurs d'électrons dans leur respiration. Il en résulte que le nitrate est réduit

en N₂, les oxydes de manganèse et de fer sont réduits en composés manganésés et ferreux beaucoup plus solubles. Cependant ses produits minéraux sont relativement peu nombreux et importants par rapport aux substances organiques qui sont produites. Elles comprennent les acides : formique, acétique, propionique et butyrique, des aldéhydes, cétones et alcool, H₂S, sulfures organiques, mercaptanes, amines, CO₂ et méthane. Ces produits évalués analytiquement par titration avec du permanganate de potassium (KMnO₄) ont en compétition avec les racines des plantes, en particulier du riz, pour l'oxygène, diminuent leur pouvoir respiratoire, leur croissance et l'absorption d'éléments minéraux et provoquent des maladies. Les effets toxiques des acides organiques sur le développement du riz ont été étudiés par plusieurs auteurs dont Takijima et al (1960) qui ont conclu après une série d'études qu'ils sont responsables, les acides organiques, des dégâts des racines dans les sols mal drainés, sableux et tourbeux.

Les acides gras volatiles tels que les acides formique, acétique et butyrique sont les plus importants des acides organiques communément rencontrés dans les sols de rizières submergées. La maladie occasionnée a été décrite sous plusieurs noms, akagare type II, "suffocation disease" etc., (Baba et al 1965), elle s'accompagne d'une déficience en potassium et en phosphore. Les symptômes généraux sont le rabougrissement et une décoloration brunâtre des feuilles de la base. Le drainage, l'utilisation des produits oxydants comme le nitrate ou le bioxyde de manganèse peuvent l'éliminer.

Cette maladie n'a pas été décrite dans la littérature en Afrique de l'Ouest.

Par contre, la toxicité au fer a été signalée par nous mêmes dans plusieurs pays de la région (Bèye et al 1975) et elle est très fréquente dans les sols hydromorphes submergés, sols sulfatés acides. La toxicité due à H₂S est aussi fréquente dans les sols de texture légère pauvre en fer et manganèse.

3/ - Les propriétés biologiques : Les conditions d'hydromorphie ont tendance à provoquer une accumulation de matières organiques qui peut aller jusqu'aux tourbes suivant les conditions pédo-climatiques. Cependant sous les tropiques et en conditions d'alternance d'engorgement et d'assèchement, la décomposition de la matière organique est rapide. En condition purement anaérobie cette décomposition est lente et le stade final est l'ammoniacque et non le nitrate comme c'est le cas en condition aérobie.

Les études dans le domaine des propriétés biologiques n'ont pas été abondantes dans la littérature pour l'Afrique de l'Ouest. Des recherches sur les effets de la matière organique ont été signalées par Traoré (1973) : l'effet de l'engrais vert (Crotalaria retusa) à la dose de 10t/ha est sans équivoque et est égal à l'action de 70 kg/ha d'azote environ. L'efficacité de certains résidus de récolte tels que son de riz, la paille de riz, le tourteau de coton a été démontrée, en particulier celle de la paille de riz a été positive sur la structure du sol. Nous mêmes avons démontré cette action bénéfique de la paille à la dose de 6 t/ha sur les propriétés des sols argileux engorgés et sur le rendement (Bèye, 1974, 1977 a, 1977 b) ; Bèye et al (1978).

Cependant cette action sur sol sableux est dépressive en condition submergée (Bèye et al 1978), mais en culture pluviale sur grès hydromorphe, Bertrand et al (1978) signalent un effet bénéfique sur les rendements et les caractéristiques du sol.

Les phénomènes de dénitrification fréquents dans les sols hydromorphes ont été signalés, en particulier au Sénégal, Garcia (1978) a étudié le problème dans les sols de rizière. De son côté Jacq (1975, 1977) a étudié les phénomènes de sulfato-réduction fréquents dans certains sols engorgés du Sénégal. C'est ainsi qu'il a montré, Jacq (1978) que l'application en rizière de l'urée enrobée de soufre (sulfur Coated Urea), au semis, à la surface du sol provoque l'augmentation des quantités de sulfures dans la sphère rhizosphère, puis la rhizosphère des jeunes plants, à des périodes pendant lesquelles le riz est le plus sensible à ces sulfures. Par contre, l'incorporation de cet engrais aux 10 premiers cm du sol, lors d'un labour avant semis, n'a d'effet sensible que sur les jeunes plants.

Rinaudo (1974), Rinaudo et al (1977) ont étudié la fixation biologique de l'azote au niveau de la rhizosphère du riz.

V - LES BESOINS DE RECHERCHES : QUELQUES SUGGESTIONS

Les sols hydromorphes sont nombreux et variés en Afrique de l'Ouest. Leur utilisation est encore limitée et un énorme potentiel de production reste encore inutilisé faute d'eau d'irrigation suffisante. De ce fait des domaines restent encore peu étudiés :

- . Une évaluation cartographique systématique de ces sols reste à faire ;

- Préférentiellement ces sols sont utilisés pour la riziculture, il serait utile d'étudier les successions culturales les mieux adaptées et les plus productives sur ces sols ;

- D'un point de vue physique : le travail du sol et ses effets sur les principales cultures mérite une attention particulière : labour ou sans labour ?

- Connaissance des caractéristiques hydrodynamiques, on verra de leur amélioration ;

- Au niveau des propriétés chimiques :

- . étude de l'économie de l'azote sur ces types de sols

- . dynamique des formes du phosphore dans les sols hydromorphes alluvionnaires très argileux et surtout utilisation des phosphates naturels dans ces sols ; relation phosphore - zinc.

- Les études des effets de oligo-éléments très rares devraient être accentuées :

- . étude des phénomènes de toxicité au fer, au H₂S et produits de réduction en condition de rizière.

- Au niveau biologique :

- . maintien et amélioration du statut organique des sols et utilisation des résidus de récolte, en particulier sur sol sableux ;

- . étude de la fixation symbiotique et non symbiotique de l'azote.

etc...

R E S U M E

Les sols hydromorphes, sont brièvement définis, leur classification indiquée, de même que leur pédogénèse. Dans cette dernière, le potentiel d'oxydo-réduction joue un rôle fondamental de même que la dynamique du fer. Ils comprennent les sols des bas-fonds mal drainés, les sols de vallées intérieures et des marécages côtiers ainsi que les sols des alluvions des grands fleuves généralement peu évolués, mais qui du fait des inondations périodiques ou de l'irrigation évoluent artificiellement en sols hydromorphes.

Leurs propriétés physiques et chimiques sont variées, Les teneurs en matière organique sont variables et l'engrais azoté a toujours une action positive. Le phosphore généralement fait défaut, mais son apport n'est pas toujours payant, surtout sur les sols à texture lourde. Utilisés en anaérobiose ils présentent de toxicité particulière en fer et en sulfures.

L'incorporation de matière organique donne généralement de bons résultats,

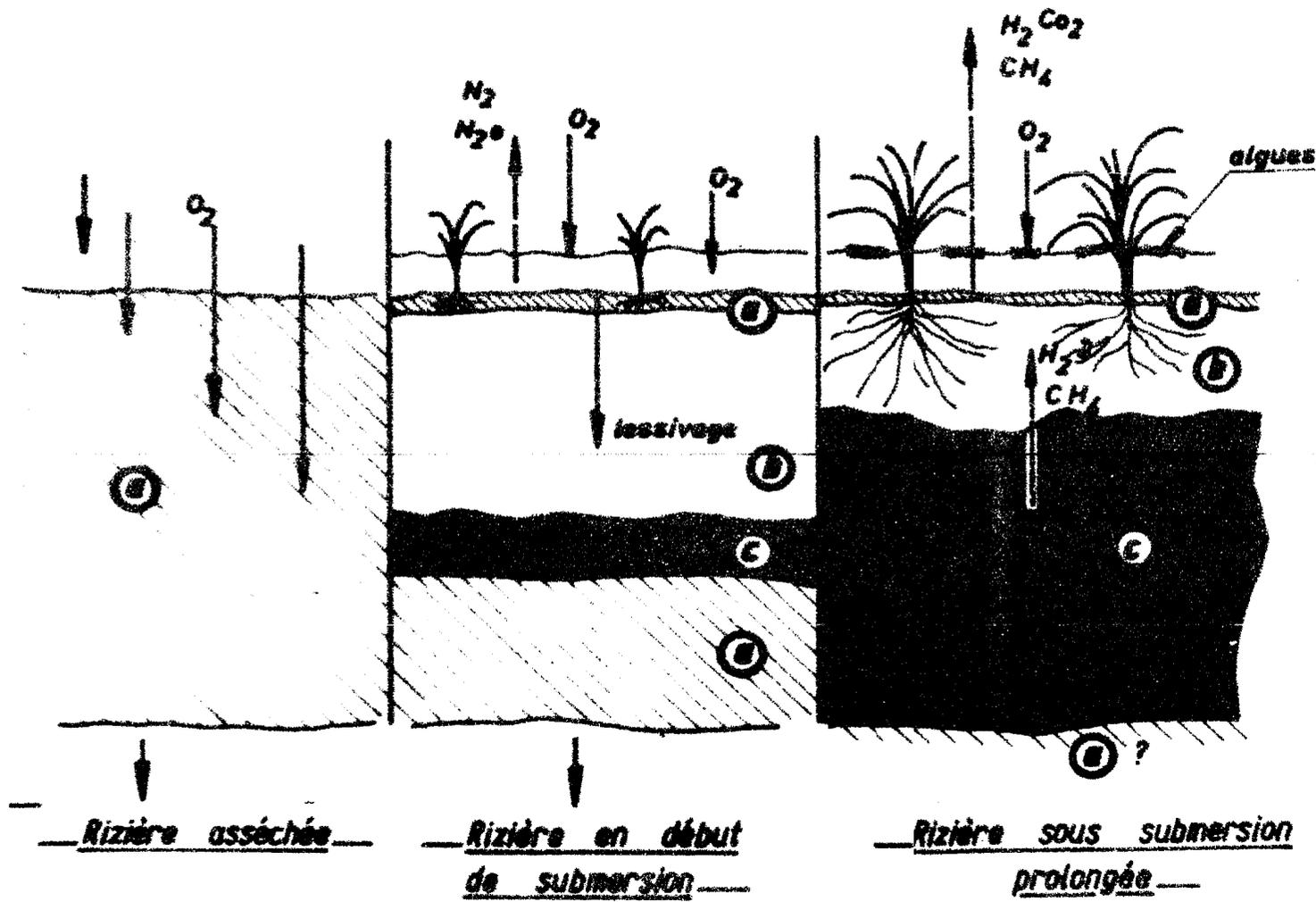
BIBLIOGRAPHIE

- Aubert, (G.) 1965 : Classification des sols : tableaux des classes, sous-classes, groupes et sous-groupes de sols utilisés par la Section de Pédologie de l'ORSTOM ; Cahier ORSTOM, Série Pédologie. N°3, pp : 269-288.
- Baba, I. ; Inada, K. ; and Tajima, K., 1965.- Mineral nutrition and occurrence of physiological diseases ; The Mineral Nutrition of the Rice plant. The Johns Hopkins Press, Baltimore, Maryland 21 218.
- Bertrand, R. et Forost, M. 1973 : Comptes rendus de l'étude des sols de Casamance (Sénégal), Campagne 1971-1972, rapport IRAT.
- Bertrand, R. ; Siband, P. ; Ganry, F. and Guillobez, S. 1978 : Rice cultivation under hydromorphic conditions on the sandy grey soils of the lower slopes in Senegal : Rice in Africa : proceedings of a Conference held at the International Institute of Tropical Agriculture Academic Press, London - New-York - San Francisco.
- Bèye, G. ; 1977 : Réhabilitation of two acid sulfate soils for rice, IRRI, Saturday seminar, November.
- Bèye, G. ; 1973 a : La fertilisation des sols de rizières au Sénégal : Séminaire sur la fertilité des sols rizicoles et l'utilisation des engrais 22-27 janvier à Monrovia ADRAO/S/73/7.
- Bèye, G. ; 1973b : Etude comparative de différents engrais phosphatés pour la fumure phosphatée du riz en sols de rizières très acides de Basse Casamance : L'Agron. Trop. Vol. XXVIII N°10.
- Bèye, G. ; Touré, M. ; Aïrial, G. ; 1975. Acid sulfate soils of west Africa, problems of their management for agriculture use ; International Rice Research Institute, Los Baños Philippines : International Rice Conference.
- Bèye, G. ; 1977 a : Etude de l'action de doses croissantes d'azote en présence ou en absence de paille de riz enfouie sur le développement et les rendements du riz en basse Casamance Rgr. Trop. Vol xxxii N°1.
- Bèye, G. ; 1977 b : Influence de la longueur de la submersion avant repiquage et de l'enfouissement de paille sur les propriétés physico-chimiques de deux sols de rizières et sur le développement et les rendements du riz. L'Agron. Trop. XXXII-1
- Bèye, G. ; 1974 : Etude comparative de l'action de la potasse et de la paille enfouie sur le développement et le rendement du riz, sur sols argileux de basse Casamance. L'Agr. Trop. Vol : XXIX N°8.

- Bèye, G. ; Touré, M. ; Arial, G. : 1978 - Action de la paille enfouie sur les caractéristiques physico-chimiques des sols submergés de rizières de Basse Casamance et sur le développement du riz. L'Agro. Trop. XXXIII N°4.
- Bocquier ; G. et Claisse, G. ; 1963 : Reconnaissance pédologique dans la vallée de la Gambie et de la Koutountou, Cahier ORSTOM Série, Pdo, N°4.
- Bouyer, S. et Dabin, B. ; 1963 : études pédologiques du delta central du Niger. L'Agron. Trop. N°12 - pp. 1300 - 1304
- Bredere, Th. J. 1965 : Nitrogen, Phosphorus and potassium uptake by lowland Rice and its relation to yield of some Nigerian alluvial soil. Agron. 3. Vol. 57, N°5
- Brinkman, R. 1970 : Ferrollysis, a hydromorphic soil forming process, Geoderma 3 : 199-206.
- Brinkman, R., 1978 : Ferrollysis : Chemical and mineralogy aspects of soil formation in seasonally wetacid soils, and some practical implications : International Rice Research Institute, Soils and Rice. Los Baños - Philippines.
- Couey, M. , Bouyer, S. ; Chabrolin, R. et Courtessole, P. 1967 : Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive 19-25 Nov. L'Agron. Trop. Suppl. 1966. pp 720-730.
- Dumont, C. et Dupont De Dincchon, D. ; 1967 : La fumure phosphatée des cultures vivrières en Haute-Volta : Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, (Tananarive) 19-25 Nov. L'Agron. Trop. suppl. 1968. pp. 639-656.
- Durand, J.H. 1973. - La région des Niayes (Sénégal) : Bull. de la Société Linnéenne de Bordeaux, Tome III N°3.
- Durand, J.H. ; et Michel, P. 1978 ; La vallée alluviale du Sénégal (Afrique de l'Ouest) : Relations géomorphologie-sols, aptitudes culturales et leur cartographie Bu 1/50.000. CATENA Vol. 5, N°2 - pp. 213-225.
- Faure, J. 1954 ; étude de quelques sols à engorgement temporaire de la région de Bargny (Sénégal), c.r. deuxième Conf. Inter. afr. Sols. 1, : 275-294.
- Garcia, S.L. ; 1978 : Etude de la dénitrification dans les sols de rizière du Sénégal. Cah. ORSTOM. ser. biol. Vol. XIII, N°2.
- Guillobez, S. 1973 : Compte rendu de l'étude des "sols gris" de Casamance (Sénégal), Campagne 1972-1973, rapport IRAT/Sénégal.
- Jacq, V.A. 1975 : La sulfato-réduction en relation avec l'excrétion racinaire. Soc. Bot. Fr. Coll. Rhizosphère 169-181.
- Jacq, V.A. 1977 : Sensibilité du riz aux sulfures d'origine microbienne Cah. ORSTOM, ser. biol. Vol. XII N°2 ; 97-99.
- Jacq, V.A. 1978 : Utilisation du "sulfur coated urea" en rizière et production de sulfures toxiques. Cah. ORSTOM. Ser. Biol.

- Jonny, 3.3. 1965 : Sols et problèmes de fertilité on haute-volta, Agron. Trop. Vol. 20 N°2, PP. 220-247.
- Kang, B.T. 1973 : Problèmes liés à la fertilité des sols d'Afrique occidentale pour la production rizicole. Séminaire ADRAO sur la fertilité des sols rizicoles et l'utilisation des engrais, Monrovia 22-27 Janvier 1973.
- Kang, B.T. et Okoro, E.G., 1976. Response of flooded rice grown on a vertisol from northern Nigeria to zinc sources and method of application, Plant & Soil 44, 15-25.
- Kanno, I. 1956. A scheme for soil classification of paddy fields in Japan, with special reference to mineral paddy soils. Bull. Kyushu Agric. Exp. Stn. 4. 216-273.
- Kanno, I. 1962 ; A new classification system of rice soils in Japan.- Pages 617-624 in Trans. Joint, mtg. comm. IV x V, Int. Soc. Soil Sci, New Zealand.
- Kanno, I. 1978 ; Genesis of rice soils with special reference to profile development in International Rice Research Institute, Soils and Rice. Los Baños, Philippines.
- Killian, J. et Toissior, J. 1972. Méthodes d'investigation pour l'analyse et le classement des bas-fonds dans quelques régions de l'Afrique de l'Ouest ; proposition de classifications d'aptitudes des terres à la riziculture. FF/IRAT/IITA séminaire sur les perspectives pour l'irrigation on Afrique de l'Ouest, mimeogr. 18 p.
- Moormann, F.R., 1973 : Evaluation générale des terres sur lesquelles le riz est cultivé en Afrique Occidentale : Séminaire ADRAO sur la fertilité des sols rizicoles et l'utilisation des engrais. 22-27 janvier 1973 - Monrovia.
- Moormann, F.R. 1978 : Morphology and classification of soils on which rice is grown : International Rice Research Institute, 1978, soils and rice ; Los Baños, Philippines,
- Obong, H.B. 1968 : Soils, suitable for large scale rice production in Ghana, Ghanafarmer (Accra) 12, (4), PP. 148-159.
- Piéri, C, 1967 : Bilan des recherches sur la fumure phosphatée au Mali. Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive 19-25 Nov. Suppl. L'Agron. Trop, 1968, pp. 1139-1148.
- Ponnamperuma, F.N. 1965. Dynamic aspects of flooded soils and the nutrition of the rice plant, The mineral nutrition of the rice plant, The Johns Hopkins Press, Baltimore, Maryland 212-18.
- Ponnamperuma, F.N., Loy, T.A. ; Franco, E.M., 1967 : Redox equilibria in flooded soils ; 1, The iron hydroxide systems Soils Sci. 103 (6)
- Ponnamperuma, F.N. 1972a : The chemistry of submerged soils - Advances in Agronomy Vol 24.

- Ponnamparuma, F.N. 1972b : In "Soil chemistry" (J. Bremner and G. Chesters eds) Dekker, New-York.
- Ponnamparuma, F.N. 1978 : Electrochemical changes in submerged soils and the growth of rice. In International Rice Research Institute 1978, soils and Rice, Los Baños, Philippines.
- Poulain, J.F. 1972 : Principaux résultats agronomiques obtenus par l'IRAT en Haute-Volta. 1960-1971. Séminaire sur les recherches sur les sols tropicaux. FF/IRAT/IITA, Ibadan.
- Rinaudo, G., 1974. Fixation biologique de l'azote dans trois sols de rizières de Côte-d'Ivoire. Rev. Ecol. Biol. sol. II ; 149-1 68.
- Rinaudo, G. , Hamad-Farés, I. Dommorgues, Y., 1977 ; N₂ - fixation in the rice rhizosphere : methods of measurements ; practices suggested to enhance the process. In "Biological N₂ fixation in farming systems of the tropics, Edited by. A. Ayanabo., P.J. DART, 313-324.
- Sinh, A. and Balasubramanian V. 1978 ; Soils resources and management in semi-arid region of northern Nigeria, in AAASA Conference at Ibadan 9-15 avril 1978.
- Takijima, Y. Shiojima, and Arita ; 1960 : metabolism of organic acids in soils and their harmful effects on paddy grow
Part 2 : effect of organic acids on root elongation and nutrient absorption of rice plants. J. Sci. Soil. and manure, Japan 31 (10).
- Traoré, M.F. 1973 : Fertilité des sols rizicoles et utilisation des engrais au Mali, Séminaire sur la fertilité des sols rizicoles et l'utilisation des engrais. ADRAO - Monrovia 22-27 janvier 1973.
- Vizier, J.F. 1973 ; Etude des phénomènes d'hydromorphie et leur déterminisme dans quelques types de sols du Tchad, Cah. ORSTOM, Sér. Pédol. Vol VIII N°1.
- Vizior, J.F. 1971 : Etude de l'état d'oxydo-réduction du sol et de ses conséquences sur la dynamique du fer dans les sols hydromorphes, in Cah. ORSTOM, Sér. Pédol. Vol IX N°4.
- Will, H. 1970 ; The status of rice research in Sierra Leone. Rice Research Seminar, Ibadan.

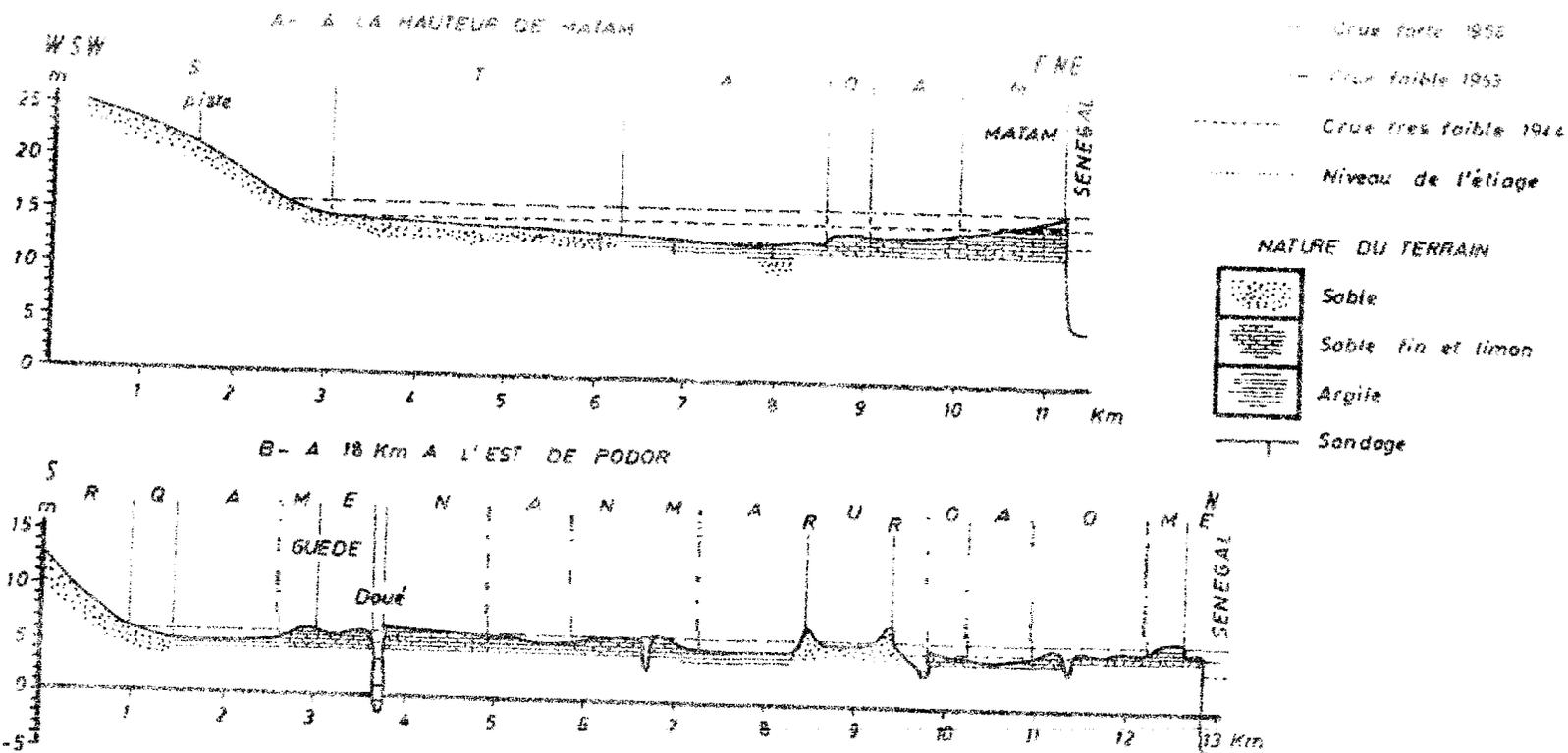


a = horizon oxyde ou non réduit (faible diffusion de O_2)

b = horizon moyennement réduit

c = horizon très réduit

COUPES DE LA VALLÉE ALLUVIAIRE DU SENEGAL (RIVE GAUCHE)



Définition du modèle (avec les symboles de la carte géomorphologique au 1/50 000 et unités de sols)

Cuvette argileuse de décantation

vertisol topomorphe et hydromorphes à gley

levée subactuelle

association de sols peu évolués et hydromorphes

M - Haute levée

N - Déelta de rupture de levée

O - Petite levée

(sols peu évolués d'apport hydromorphes)

Post -

Nouakchottien

Q - Terrasse marine du

Nouakchottien

(sols hydromorphes à pseudogley)

R - Dune rouge

(sol brun subaride)

U - Dune rouge arasée

(sol à pseudogley de profondeur)

S - terrasse du 1^{er} remblai

(sol brun subaride)

T - même terrasse mais arasée

(sol hydromorphe à pseudogley)

FIGURE 2 : (adaptation d'après P MICHEL et J. H. DURAND : 1978)

FIGURE 3 : AFRIQUE DE L'OUEST

Les mangroves des marécages littoraux et des bassins alluvionnaires des grands fleuves

b- Bassins alluvionnaires

Sols sulfatés acides (mangrove) et halomorphes

PAYS	SURFACE EN 1000 ha
SENEGAL	975
GAMBIE	375
GUINEE BISSAO	1.175
REP. R. DE GUINEE	825
SERRA LEONE	500
LIBERIA	125
COTE D'IVOIRE	25
GHANA - TOGO	150
GHANA	1.550
CAMEROUN	250
TOGO	700
Total	6.650

1	FLEUVE SENEGAL	610.000 ha
2	NIGER-DANI SUPERIEURS	600.000 ha
3	NIGER MOYEN	110.000 ha
4	LOGONE	215.000 ha
5	Chari	750.000 ha
6	VOLTA	90.000 ha
7	GAMBIE	120.000 ha
Total		2.495.000 ha

