

16.200 SYL

MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL

INSTITUT SENEGALAIS
DE RECHERCHES AGRICOLES

DEPARTEMENT PRODUCTIONS
VEGETALES

DIAGNOSTIC DES CONTRAINTES EDAPHIQUES DES SOLS
RIZICULTIVABLES DE DJIBELOR ET KATOURE, POUR
UNE EFFICIENCE DES ENGRAIS N ET NPK

Mémoire de Confirmation
présenté par :
Mabèye SYLLA

Mars 1986

7hs007.91



Centre de Recherches Agricoles de Djibélor

MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL

INSTITUT SENEGALAIS
DE RECHERCHES AGRICOLES

DEPARTEMENT PRODUCTIONS
VEGETALES

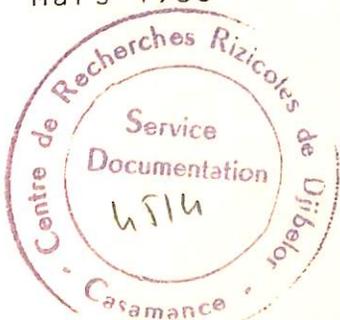
DIAGNOSTIC DES CONTRAINTES EDAPHIQUES DES SOLS
RIZICULTIVABLES DE DJIBELOR ET KATOURE POUR
UNE EFFICIENCE DES ENGRAIS N ET NPK

Mémoire de Confirmation

présenté par :

Mabèye SYLLA

Mars 1986



Centre de Recherches Agricoles de Djibélor

RESUME

Le diagnostic des contraintes édaphiques sur la toposéquence de Djibélor et de Katouré est principalement basé sur l'interprétation physico-chimique des bulletins analytiques de laboratoire, d'un suivi physiologique et appuyé par la connaissance de la dynamique des processus chimiques dans le sol liés à leurs conditions hydrodynamiques. La conséquence du diagnostic est confirmée par les rendements en paddy dans les dispositifs implantés en champ.

Les facteurs les plus limitants ont été la toxicité ferreuse (excepté sur le plateau de Djibélor) et la carence en P.

Ces facteurs limitants ont une dynamique intimement liée aux conditions hydriques des sols. Le plateau a montré une multitude de contraintes allant de la pauvreté en N, P, K, Ca, Mg, M.O. à une grande susceptibilité à l'érosion.

Les variétés les plus productives sont la Dj12.529 et TOX728 à Djibélor et Barafita à Katouré sur sols de rizière "assistée de nappe". Sur rizière "de cycle moyen" ce sont la BW248.1 et les IR2071.586 et IR4422 à Djibélor. Sur "cycle court" à Katouré c'est la Dj684 D la plus performante. Sur "cycle long" à Djibélor la ROCK5 semble plus adaptée. Cependant, les traitements mathématiques et de taïlorisation prédisent des rendements maximums inférieurs aux rendements déjà observés en milieu similaire mais moins contraignants confirmant ainsi le diagnostic et objectivise les prises de décision pour l'amélioration foncière.

.../

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont aidé à faire ce travail :

- Mr. Moctar TOURE, Directeur Scientifique de l'ISRA, ainsi que Mr. NDOYE Directeur du Département des Recherches sur les Productions Végétales, pour leurs encouragements, conseils et pour la promptitude avec laquelle ils m'ont approté les supports logistiques ;

- Mr. Léopold SARR, Chef de la Division Appui au Département des Recherches sur les Systèmes de Production et Transfert de Technologies en Milieu Rural, qui a bien voulu diriger ce travail, me consacrant ainsi beaucoup de son temps ;

- Mme Aminata NIANE BADIANE qui a lu et critiqué de manière constructive le document ;

- Mr. Alphonse FAYE, Directeur du Centre de Djibélor et son staff pour leur accueil chaleureux à Djibélor ;

- Mr. Yamar MBODJ, Souleymane DIALLO, Mour GUEYE, l'ensemble des collègues du Programme Riz qui m'ont mis dans une bonne ambiance de travail et qui ont bien voulu annoter le texte afin de le rendre plus lisible.

- Toutes les 2 équipes du Laboratoire de Pédologie et du Programme Riz, sans lesquelles ce travail n'aurait jamais vu le jour ;

- Mme Rougui SYLLA pour avoir accepté avec compréhension les longues absences de son mari ;

- Mr. Le Colonel Mahdi SYLLA et famille, Mr. le Professeur SOW et famille pour leur soutien moral ;

- Mlle Astou Combé MBAYE pour l'excellente qualité de la dactylographie dans une période si courte.

SOMMAIRE

	<u>Pages</u> :
INTRODUCTION	1
I. Revue Bibliographique	2
A/ Approche pour une caractérisation des sols rizicultivables	2
B/ Description sommaire de la sous-région étudiée	5
1. Généralités	5
1.a. Situations géographiques	5
1.b. Géomorphologie	6
1.c. Sédimentologie	6
1.d. Climat	7
1.e. Hydrologie	8
1.f. Végétation	8
2. Description sommaire des sols	9
2.a. Classe des sols minéraux bruts	9
2.b. Classe des sols peu évolués	9
2.c. Classe des sols ferrallitiques	11
2.d. Classe des sols hydromorphes	11
2.e. Classe des sols halomorphes	12
C/ Nutrition Minérale, Rôle des Eléments Minéraux et l'effet de carence sur le Riz	
1. Nutrition minérale - Généralité	13
2. Nutrition minérale (N,P,K)	13
2.a. Azote (N)	14
2.b. Phosphore (P)	20
2.c. Potassium (K)	25
2.d. Les Oligoéléments	29

D/ Les problèmes de sols autres que les phénomènes de carence susceptibles d'être rencontrés dans l'aire d'étude	31
1. La toxicité ferreuse	31
1.a. Généralités	31
1.b. Chimie et électrochimie dans les sols submergés	33
1.c. Amélioration foncière	35
2. Sols sulfatés-acides (sulfaquents ; sulfaquepts)	36
3. Les sols salés et/ou sodiques	36
E/ Etude de cas de fertilisation en Basse Casamance	37
1. Fertilisation des sols de plateau (sols ferrallitiques ou ferrugineux)	37
2. Fertilisation des sols de transition (petites vallées intérieurs et bordure du plateau)	37
F/ Nouvelle Approche Pluridisciplinaire	42
II. Techniques et Méthodes	49
A/ Dispositifs et Traitements	49
1. Dispositif en split-split-plot et traitements	49
2. Dispositif en split-plot et traitements	52
B/ Analyses de laboratoire	53
III. Resultats et Discussions	54
A/ Diagnostic des contraintes édaphiques	54
1. Les sols du plateau de Djibélor	54
2. Les sols de vallées intérieures et bordure de plateau - Djibélor	58
2.a. Sols de bordure de plateau - rizière "assistée de nappe" (Djibélor parcelle E ₃ et E ₅)	58

	<u>Pages</u> :
2.b. Les sols de vallées intérieures de Djibélor	64
2.b.1) Les sols de rizière de "cycle moyen"	64
2.b.2) Les sols de rizière "cycle long" sub- mersion profonde	74
3. Les sols de vallées intérieures et de bordure de plateau - Katouré	77
3.a. Les sols de riziculture "assistée de nappe"	78
3.b. Les sols de riziculture "cycle court"	82
B/ Aspects Agronomiques	87
1. Effet des engrais - N sur sols de plateau de Djibélor	87
2. Effet des engrais - N sur les sols de vallées intérieures et de bordure du plateau de Djibélor	87
2.a. Sur sols de rizière "assistée de nappe"	88
2.b. Sur sols de rizière "cycle moyen"	89
2.c. Sur sols de rizière profonde ou "cycle long"	92
3. Effet des engrais NPK sur les sols de vallées in- térieures à Katouré	93
3.a. Sur sols de rizière " assistée de nappe"	93
3.b. Sur sols de rizière submergée "cycle court"	94
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE	95
BIBLIOGRAPHIE	101
ANNEXES - BULLETINS ANALYTIQUES DES SOLS	101

LISTE DES FIGURES

Pages :

- Fig. 1 : Effet des doses croissantes d'azote sur les rendements en paddy de cinq variétés de riz sur sols de rizière "assistée de nappe" - Djibélor 94 bis
- Fig. 2 : Effet des doses croissantes d'azote sur les rendements en paddy de cinq variétés de riz sur sols de rizière "cycle moyen" - Djibélor 94 bis
- Fig. 3 : Effet des doses croissantes d'azote sur les rendements en paddy de cinq variétés de riz sur sols de rizière "cycle long" - Djibélor 94 bis
- Fig. 4 : Effet des doses croissantes de N-P-K sur les rendements en paddy de cinq variétés de riz sur sols de rizière "assistée de nappe" - Katouré - Les abscisses sont des % de la dose préconisée (84N-36P-54K) 94 bis

LISTE DES TABLEAUX

	<u>Pages</u>
<u>Tableau 1</u> : Rôle des éléments nutritifs du sol sur la plante de riz et quelques symptômes de leur carence	43
<u>Tableau 2</u> : Propriétés chimiques moyennes des sols de la toposéquence de Djibélor et de Katouré	86
<u>Tableau 3</u> : Comparaison des rendements en paddy obtenus, aux valeurs prédites par l'équation de taïlorisation et la régression	89
<u>Tableau 4</u> : Comparaison des rendements en paddy de 4 variétés de riz aux valeurs prédites par la taïlorisation et la régression	91
<u>Tableau 5</u> : Rendements en paddy de cinq variétés de riz pour des doses croissantes de NPK en rizière de cycle court à Katouré	94

INTRODUCTION

L'existence en Casamance de plusieurs types de sols rizicultivables impose, à défaut d'une répartition des grands groupes de sols par unité géomorphologique distincte et par types de riziculture, de faire un diagnostic des contraintes édaphiques pouvant limiter la production du riz, denrée largement consommée au Sénégal.

La nouvelle politique agricole du pays, qui a fixé des objectifs d'autosuffisance alimentaire par une intensification de la riziculture mais sans subvention des engrais, implique que l'accent soit mis sur une identification précise des contraintes du milieu pour une meilleure efficacité de la technique de fertilisation à recommander (amendements, fumure minérale et organique). L'objectif fixé dans ce travail est d'établir le diagnostic des facteurs limitants et de proposer des solutions faisables. La factibilité de ces solutions doit être approchée avec l'aide des techniques de modélisation et de taïlorisation pour mieux apprécier les réductions de rendement dues à ces contraintes.

Ainsi l'étude devrait comporter deux parties, l'une en milieu contrôlé et l'autre en station et au champ. Mais indépendamment de la volonté de l'auteur, la partie concernant les études en milieu contrôlé n'a pas été réalisée. Compte tenu de ce fait, le diagnostic se fera avec le support des connaissances et observations antérieures.

Dans la première partie de ce travail, une revue de la bibliographique synthétique servira de support scientifique aux diagnostics dynamiques à défaut de résultats des études en serre. La deuxième partie explicite la méthodologie utilisée. La troisième partie discute les résultats obtenus et enfin la dernière partie consistera en une ébauche de conclusions dégageant les perspectives de recherches.

CHAPITRE I

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Le bon fonctionnement du sol est lié à des mécanismes physico-chimiques complexes et délicats. Pour mieux apprécier son état et définir les méthodes qui permettront d'en obtenir les meilleurs résultats, il faut considérer simultanément un grand nombre de facteurs pour une meilleure prise en compte des phénomènes d'interaction. Cependant, pour une interprétation objective, l'histoire éducatrice de l'aire d'étude demeure une nécessité.

A/ APPROCHE POUR UNE CARACTERISATION DES SOLS RIZICULTIVABLES

L'utilisation d'un simple critère comme la texture est loin d'être suffisante pour caractériser les sols comme étant rizicultivables. Beaucoup de facteurs ont leur importance dans l'évaluation qualitative des sols à des fins de riziculture, dont les principaux sont :

- la capacité de rétention
- l'aération dans la zone racinaire
- le problème des toxicités
- le danger d'inondation excessive
- la facilité de travail du sol
- la résistance à l'érosion
- la classe de drainage
- le climat

L'ensemble de ces facteurs devrait être pris en compte pour une meilleure caractérisation des sols rizicultivables à des fins de fertilisation. Cependant, dans cette étude, seuls les facteurs ayant trait à la disponibilité des éléments nutritifs, la toxicité, la salinité et/ou l'alkalinité, seront pris en compte.

Dans les pays à revenu par paysan faible, où le "management" sur le plan fertilisation est faible, la disponibilité des éléments nutritifs inhérents au milieu édaphique est le facteur le plus important pour une évaluation qualitative de la fertilité des sols. Quelques études classiques ont été réalisées en mettant en relation les unités cartographiques et le niveau de rendements des sols de riziculture n'ayant pas reçu d'apport d'éléments nutritifs. Les conclusions dégagées de ces études montrent que les facteurs de la pédogenèse ayant le plus de poids sur la productivité du riz sont ceux hérités des matériaux parentaux et des produits de leur dégradation physico-chimique. Ainsi il semble apparent que l'aspect qualitatif des sols en terme de disponibilité en éléments nutritifs est le plus souvent bien corrélé aux unités taxonomiques des sols.

En riziculture pluviale stricte, la disponibilité en éléments nutritifs peut être élevée la première année de défriche et décroître d'année en année contrairement aux sols naturellement "riches" de bas-fonds et bordure de rivières ; Exemple, sur les "Inceptisols" à teneur élevée en argile (sol alluvial, sols des alluvions récents, sédiment fluvial et marin) il est enregistré des rendements de riz plus élevés que sur les sols sableux et kaolinitiques des plateaux. Les sols riches en sesquioxydes comme les sols ferrallitiques (Oxisols - Ultisols) le plus souvent ont une capacité de rétention ou de fixation du phosphore très élevée. Donc la déficience en phosphore / ^{comme étant} le facteur limitant le plus important sur ce type de sol ce qui n'est pas le cas dans les bas fonds où un enrichissement en P, libéré par les oxydes est souvent observé pendant la submersion. Mais dans le passé, très peu de phosphore prélevé par la plante a été remplacé ainsi la déficience en P est presque généralisée.

Pour le potassium (K), la source naturelle est le K échangeable des argiles (biotite, mica, illite). Quand les sols sont

excessivement dégradés (dégradation physique et chimique) comme dans les oxisols, les ultisols, avec une faible Capacité d'Echange Cationique (CEC) ou les sols quartzitiques, le K disponible devient faible et peut être le facteur limitant le plus important pour la production du riz.

En ce qui concerne les autres éléments :

- Le calcium (Ca) est à une teneur faible dans la plupart des sols fortement lessivés et aussi sur certains sols dérivés d'un matériel parental riche en serpentine. Une disponibilité élevée en Ca est observée dans les sols fortement alcalins.

- Les sulfures (S) comme le fer (Fe) peuvent être limitants en riziculture pluviale stricte et toxiques en riziculture inondée.

- Le cuivre (Cu) est souvent déficient dans les sols à forte teneur en matière organique (M.O.)

- la silice (Si) est disponible d'une manière satisfaisante dans la plupart des conditions.

Cependant, sa teneur peut être à un niveau critique devenant un facteur limitant pour la production du riz dans les sols acides constitués principalement de quartz ou riche en matière organique.

Compte tenu de ces observations classiques, des systèmes ont été proposés. Kawaguchi et al. (1977) ont proposé un système de classification des sols pour leur aptitude à la riziculture. Cependant, leur système exige beaucoup de temps et d'excellentes infrastructures de laboratoire avec des méthodes d'analyses standardisées. Le système proposé par Buol et al. (1975) dans lequel les niveaux de fertilité regroupent les unités taxonomiques à fertilités similaires, apparaît plus simple et avantageux.

Des études de caractérisation régionale des sols rizicultivables menées à l'IRRI (IRRI 1981) ont pu corréler la carte d'apti-

tude culturelle à la riziculture avec la carte pédologique. La distribution des sols rizicultivables par niveaux de fertilité et de pente pour 51 unités taxonomiques a été établie. Une échelle de 1 à 9 pour les unités de sols suivant leur fertilité et les facteurs limitants à la production en riz a été proposée. Cette échelle est basée sur le niveau d'acidité (pH), la capacité d'échange cationique (CEC), le taux de matière organique (M.O.), la teneur naturelle en N,P,K, les potentialités de toxicités ou de déficiences en éléments mineurs et la salinité.

Ainsi l'ensemble de ces variables intrinsèques au sol, corrélées ou non à l'unité paysagique seront prises en compte pour un diagnostic complet. Cependant, avant de poser un problème de fertilité il est nécessaire comme préambule de décrire l'histoire édaphique de l'aire d'étude.

B/ DESCRIPTION SOMMAIRE DE LA SOUS-REGION ETUDIEE

1. Généralités (basées sur la carte pédologique ORSTOM 1975)

1.a. Situation géographique :

Partie méridionale de la République du Sénégal avec latitude 12°20 et 16°20 Nord et longitude 16°20 et 16°30 Ouest, la Casamance est limitée au Nord par la République de Gambie, au Sud par celle de Guinée Bissau, à l'Ouest par l'Océan Atlantique et à l'Est par la rivière de Koulountou qui la sépare du Sénégal Oriental.

Les dernières réformes administratives du 19 Juillet 1984, divisent la région en deux : la région de Ziguinchor, regroupant les départements de Bignona, Oussouye et Ziguinchor et la région de Kolda situé à l'Est de celle-ci. La région de Ziguinchor, cadre de cette étude, couvre 7339 km² avec une population de 333.791 habitants.(Niane, 1984).

1.b. Géomorphologie :

La Basse Casamance présente un littoral plat et bas par rapport à la mer. C'est une zone caractérisée par de nombreux chenaux de marée anastomosés bordés de palétuviers.

Une zone alluviale caractéristique borde le fleuve casamance et les chenaux en "doigts de gant". Au nord de cette zone alluviale, un remplissage alluvial complet limité par la faille NO-SE bordant le plateau de Bignona et au sud une autre série de failles et basculements vers Oussouye et Boucotte limite un vaste dépôt alluvionnaire. En dehors de ces zones alluvionnaires, le Continental Terminal (CT) occupe le reste de la zone exception faite du cordon littoral.

La géomorphologie de la région se caractérise principalement par des séries de transgressions et régressions suivies de creusement de vallées enfoncées dans le plateau du CT, de découpage des terrasses et de remplissage de la zone en sédiment sablo-vaseux attribué à la transgression Nouackchottienne.

1.c. Sédimentologie :

Il semblerait que la mise en place des sédiments récents et actuels serait le résultat des phases d'érosion sédimentation qui ont eu lieu dans le bassin versant de la Casamance au quaternaire.

Franck (1971) et Tobias (1965) ont montré qu'au niveau des sols rouges de plateau, une altération des sédiments sablo-argileux et la pédogenèse qui a suivi ont entraîné l'appauvrissement en éléments fins des horizons de surface (Matériaux actuellement riches en sable quartzeux) et la constitution d'horizon B d'accumulation de pseudoparticules formant une cuirasse ferrugineuse en profondeur.

La zone alluviale se caractérise par un mélange de sédiments fins et grossiers d'origine différente :

- Les éléments grossiers plus anciens pourraient provenir soit de l'ablation des horizons supérieurs des sols appauvris et formeraient des sols sableux adossés aux plateaux, soit par l'intermédiaire du fleuve Gambie qui a un bassin versant qui draine non seulement le C.T. mais aussi les formations plus anciennes, métamorphiques et volcano-sédimentaires de l'Anticambrien à l'ordiovien (Michel, 1969).

- Les éléments fins plus récents proviendraient de l'altération des horizons surmontant la cuirasse (Franck et al., 1963). Dans le domaine fluvio-marin fortement réducteur, ces pseudoparticules provenant de l'appauvrissement des horizons supérieurs des formations du plateau perdent leur ciment ferrugineux (pH et Eh faibles) pour donner des argiles et sables fins. Les éléments plus grossiers fortement ferruginisés dans les sols rouges sont pulvérisés et partiellement dissous (Vieillefon, 1974).

1.d. Le climat :

La Basse Casamance présente un climat de type soudanien, tropical très contrasté, variante subguinéenne, caractérisé par des précipitations de 1500 mm en moyenne (sauf dans les années de sécheresse), qui augmente suivant un axe Nord-Est Sud-Ouest. L'influence maritime et l'importance des plans d'eau contribuent à de faibles amplitudes thermiques et une forte hygrométrie. La sous-région présente une saison des pluies de 4 mois avec un mois d'Août recevant entre 30 à 35 % du total annuel.

L'humidité relative est élevée et ne descend généralement pas en dessous de 60 % et dépasse 80 % en saison des pluies.

Les vents ne sont généralement pas violents et leurs directions varient en fonction de la saison. L'évapotranspiration annuel-

Le (Piché) est sensiblement égale aux précipitations. Mais ces dernières années ont accusé une ETP qui dépasse fortement les précipitations.

1.e. L'hydrologie :

L'hydrologie de la sous-région est principalement dominée par une alimentation hydrique de la zone alluviale provenant soit de la Casamance et ses affluents (eaux douces) dont les bassins versants sont sur le C.T., soit des marées montantes (eaux salées). Au rythme des saisons, ce mélange eaux douces, eaux salées, varie, tant spatialement (de l'embouchure vers l'intérieur) que dans le temps (saisons pluvieuses, années de sécheresse).

1.f. La végétation :

Deux formations végétales prédominent dans la sous-région :

- Les formations sur dunes, cordons littoraux et terrasses sableuses non inondés ; sur dunes et cordons littoraux, la végétation est peu développée (généralement Ipomea pes-caprae, Chrysobalamus orbicularis), sur les dépressions quelques arbustes types Conocarpus erectus et sur les interdunes quelques espèces plus hygrophiles s'y développent.

- Les formations sur alluvions gorgées d'eau (mangrove) se caractérisent par une zonation liée à la fréquence des submersions : une première bande de Rhizophora racemosa avec leurs longues racines échasses plongeant dans l'eau se succède une bande plus large de Rhizophora mangle plus petites de taille suivie d'une bande d'Avicennia nitida à tronc unique présentant des racines sub-superficielles avec un tapis de pneumatophores pendant les marées maximales et enfin la bande sursalée nue (tanne) suivie d'une prairie de Cyperacées.

.../

2. Description sommaire des sols (J. Vieillefon, 1975, ORSTOM)

Cinq classes de sols dominent la région. Chacune d'elles peut présenter des faciès et familles multiples (Classification française)

2.a. Classe des sols minéraux bruts :

Ce sont des sols pauvres en matière organique avec une dégradation physique superficielle et très peu d'altération chimique. Les faciès modaux présentent deux familles distinctes, l'une sur sables de plage bordant le littoral (sols quartzeux riches en coquillage) sans différenciation morphopédologique. L'autre famille est sur cordons et dunes littorales avec peu de signe d'évolution pédogénétique. Leurs teneurs en bases échangeables est très faible et un taux de saturation inférieur à 50 %.

Les faciès Hydromorphes présentent aussi deux familles. L'une sur vases argileuses située en avant de la mangrove et sujette à des inondations ; Aucune différenciation du profil n'est observée. Les teneurs en argile sont voisines de 80 %. La matière organique est importante 6 à 7 % et les teneurs en soufre de 1 %. Le pH est souvent voisin de la neutralité. La CEC est élevée 30 à 40 meq/100g et la teneur en sel voisine de celle de l'eau de mer.

La famille sur sable des intercordons est souvent en association avec la famille sur cordons et dunes littorales et présente des propriétés semblables sauf que leur pH est acide (pH = 4) et une teneur en fer de l'ordre de 1 %.

2.b. Classe des sols peu évolués :

Ce sont des sols à profil A₁C dépourvus d'horizon d'altération ou masqué s'il existe. Elle est subdivisée en quatre faciès :

- Faciès modal ; famille sur terrasse sableuse de deux mètres, souvent entourée de mangroves récentes. Ces sols présentent un microrelief genre gilgai et sont souvent colonisés par les palétuviers

se raccordant aux tannes sableuses. Ce sont des sols acides (pH 4 à 6) avec de faibles teneurs en argile, en matière organique et en bases échangeables.

- Faciès lessivés; famille sur terrasse de quatre mètres, moins bien conservée, plate, avec une végétation arborée, rarement mise en culture, présente des teneurs en argile et matière organique faibles avec un pH voisin de 5.

- Faciès ferrugineux ; ce sont des sols riches en oxydes de fer fortement individualisés et dépourvus d'alumine libre. La famille se situe sur les terrasses sableuses supérieures le plus souvent adossées au plateau du C.T. Le relief y est généralement plat et parsemé de termitières. Ces sols sont à prédominance sableuse, la teneur en matière organique est voisine de 2 %, le taux de bases échangeables est faible et le pH est acide (pH 5 et 6). Leur couleur va du gris beige claire (10YR 5/2) ou brun (10YR 5/4) en surface au beige jaune ou ocre en profondeur. Dans certains cas la présence d'un horizon B argillique décelable les sort de la classe des sols peu évolués.

- Faciès hydromorphe ; dans ce faciès deux familles distinctes se dégagent :

* Famille sur vases argileuses peu organiques et peu pyriteuses. Elle est souvent localisée sous la mangrove récente. Elle présente des teneurs en matière organique voisines de 10 % avec très peu de soufre et un pH après séchage supérieur ou égal à 4. Mg et Na sont les cations dominants. La salure est forte et la teneur en argile élevée.

* Famille sur terrasses sableuses et colluvions. Elle se localise souvent dans les dépressions entre les terrasses ou entre terrasses et alluvions récents. L'acidité est forte (pH 3 à 5) la

matière organique y est élevée.

2.c. Classe des sols ferrallitiques :

Ces sols occupent souvent le sommet du plateau. Ils ont subi une altération chimique (ferrallitisation) par hydrolyse neutre ou alcaline des roches, très rapide et intense, affectant la totalité des minéraux silicatés à l'exception du quartz. Cette altération a conduit à une perte de silice par lessivage, une libération d'oxyde de fer et d'alumine (gibbsite). La migration de la silice a entraîné dans son sillage les cations Ca, Mg et K, inversement, Al_2O_3 et Fe_2O_3 se trouvant au voisinage de leur point isoélectrique, deviennent insolubles et restent en place. En fonction de la nature chimique de la roche mère et des conditions de drainage, certains produits de cette altération sont entraînés et influencent la pédogénèse sur toute la toposéquence.

2.d. Classe des sols hydromorphes :

L'évolution de ces sols est sinon entièrement du moins principalement gouvernée par la présence de l'eau qui sature le profil pendant une période de l'année. L'anéorobiose qui en résulte, entraîne une réduction du fer ferrique en fer ferreux. L'ion Fe^{++} peut alors migrer sur de petites distances et se précipiter à l'état d'hydrate ferrique dans les poches d'aération (taches de concrétions) ou sous forme moins solubles de $Fe(OH)_2$ ou $FeCO_3$ de couleur bleu-verdâtre (Gley). Ces sols peuvent être classés en fonction de leurs teneurs en M.O., de leur acidité, du degré de gleyification, et de la salure. C'est ainsi qu'on peut trouver dans la sous-région :

* les sols hydromorphes organiques tourbeux eutrophes principalement sur vases argileuses très humifères ; ils sont localisés dans les zones de mangrove. Ils contiennent plus de 30 % de matière

organique peu humifiée à moins de 40 cm de profondeur, leur teneur en soufre est voisine de 5 %, le pH presque neutre in situ est voisin de 2 quand l'échantillon est séché, le rapport Cl^-/SO_4^{2-} de la solution de sol est plus élevé que celui de l'eau de mer traduisant la réduction des sulfates.

* les sols hydromorphes unique à gley, salés, à faciès légèrement acidifié, développés sur vases argileuses. Ils prédominent dans la zone moyenne de l'estuaire et sont souvent en association avec les sols hydromorphes organiques tourbeux eutrophes.

* les sols hydromorphes minéraux développés sur argiles. Ils sont souvent localisés dans les vallées incisant les plateaux, exemple, en amont de Ziguinchor et dans la vallée de Guidel. Ces sols ont dépassé le stade de tanne à sols sulfatés acides. Ils sont généralement assez bien dessalés dans leur partie supérieure. Leur pH est acide, leur salure faible et le complexe d'échange est dominé par le cation Mg.

* les sols hydromorphes à gley salés :

- sur terrasses sableuses présentant une faible pente : localisés autour de Sliki, et en bordure sud et ouest du plateau de Bignona à Niomoune. Ils ont de fortes teneurs en fer (1,5 à 13 %).

- sur terrasses argileuses, au sud vers Affignam, à l'ouest de Tendouck et à Thionkessyl. Ce sont des alluvions argileux reposant sur un substrat sableux.

* les sols hydromorphes à pseudogley avec des taches et concrétions. Ils sont souvent localisés en amont des vallées incisant les plateaux.

2.e. Classe des sols halomorphes :

Ce sont des sols à pédogénèse presque entièrement dominée par l'effet des sels. Ils se sont développés soit sur argile soit sur

sable. Ils se présentent sous forme de tannes nus ou herbacés selon l'évolution du processus de dessalement. La surface de ces sols est caractérisée par des fentes de retrait en saison sèche avec une structure superficielle poudreuse et, boueuse et glissante en saison des pluies.

C/ NUTRITION MINERALE, ROLE DES ELEMENTS MINERAUX ET L'EFFET DES CARENCE SUR LE RIZ

1. Nutrition minérale - Généralités

La plante, comme tout autre être vivant, a besoin de substance nutritive pour sa croissance et son développement. La plante vit, se développe et se reproduit en puisant directement la substance nutritive du sol et de l'atmosphère dans sa forme inorganique.

Les éléments les plus essentiels pour la plante sont au nombre de seize. Mis à part le carbone, l'hydrogène et l'oxygène qui sont directement disponibles dans l'air et l'eau du sol, l'intérêt sera plus porté sur l'azote (N) le phosphore (P), le potassium (K), le calcium (Ca), le magnésium (Mg) comme éléments majeurs, le Soufre (S), le bore (B), le molybdène (Mo), le Chlore (Cl), le fer (Fe), le zinc (Zn), le manganèse (Mn) et le cuivre (Cu) comme oligo-éléments. Tout récemment la silice (Si) et le sodium (Na) ont été observés comme étant importants.

Un sol productif doit non seulement contenir ces éléments en quantité suffisante mais aussi en proportion équilibrée.

Le rôle des éléments minéraux et les symptômes de leur carence sont multiples (tableau 1), cependant, les éléments majeurs comme leur nom l'indique tiennent une place prépondérante dans la fertilisation des sols. Une importance particulière sera portée à l'azote due aux faits que : la plus part des sols étudiés sont carencé en N ; L'impossibilité de faire des réserves de N dans le sol ; Les

multiples pertes possibles et la sensibilité élevée de certaines variétés à la pyriculariose.

2. Nutrition minérale (N,P,K) :

2.a. L'azote (N) :

L'azote assure un meilleur développement des plantes conduisant à une augmentation de rendement en condition d'excès il entraîne une production moins importante de grains maturés (faible poids) (Comhaire, 1964) ; Quoique beaucoup de rizières soient carencées en N, les réponses à cet élément peuvent considérablement varier.

D'importantes recherches ont été réalisées dans le cadre des relations azote, mode d'application et les différents facteurs de croissance. Beaucoup de chercheurs ont étudié les effets azote, de son mode et de la période d'application sur les paramètres de rendement (la taille, le poids, la qualité, le tallage, la verse etc). Un passage en revue exhaustif de la bibliographie sur ces multiples publications, sort du cadre de ce travail. Cependant, notre attention sera orientée sur les différentes transformations de l'azote. Cette approche est choisie dans la mesure où, la maximalisation de l'efficacité des engrais azotés est un besoin actuel pour des raisons économiques et des considérations d'ordre énergétique. Différents processus chimiques interviennent dans le cadre de ces transformations dont certains sont responsables de la perte d'efficacité de l'engrais azoté :

- la fixation de l'ion ammonium : la théorie connue de l'absorption de l'ion ammonium entre les feuillets d'argile de type 2 : 1 ne semble pas importante dans les sols submergés de rizière dans la mesure où cette fixation est souvent associée à des phases de dessiccation/humectation. Différents modes de liaisons entrent en jeu dans l'absorption de NH_4^+ sur l'argile minérale (Mortland et ^{l'ion} Wolcott, 1965). Nommik (1965) a montré que la montmorillonite ne

fixe pas NH_4^+ en condition de saturation. Cependant, beaucoup de sols maintenus en condition humide fixent quelque peu NH_4^+ . Pasricha (1976) montre que sur quelques sites spécifiques du complexe d'échange, NH_4^+ y est retenu plus fortement et devient difficilement remplaçable.

Dans tous les cas, les sols riches en vermiculite et illite peuvent réduire considérablement la disponibilité en azote des engrais ammoniacaux.

- la perte de N par volatilisation : En condition de submersion les pertes sont relativement faibles, généralement moins de 10 % de l'azote apporté (IRRI, 1967, 1974, 1975).

- immobilisation : Dans tous les sols il y a un flux et reflux continu entre l'azote organique et la forme inorganique. L'assimilation ou l'immobilisation de la forme inorganique par les microorganismes est rapide en période active de prolifération et lente en période d'activité microbienne réduite (fluctuation saisonnière).

- minéralisation de l'azote : Ce processus est d'autant plus important que le riz utilise une fraction de la quantité nette de l'azote minéralisé comme source nutritionnelle. Cette quantité nette d'azote minéralisé est/fruit de la différence entre deux processus antagoniques minéralisation - immobilisation. Pour mieux cerner ce processus dynamique l'isotope ^{15}N est le plus souvent utilisé.

Une autre technique d'estimation de la capacité des sols à fournir la forme de N approprié pour le riz est le concept de valeur A définie comme étant la quantité d'un élément nutritif donné dans le sol qui a une échangeabilité ou une disponibilité égale à ce même élément quand il est appliqué comme engrais.

Cependant, étudiant la forme d'évolution de la minéralisation, d'autres auteurs ont montré que la conversion de l'azote organique

en une forme inorganique est influencée par plusieurs facteurs de l'environnement tel que la température, l'humidité du sol et les alternances humectation/dessiccation. Hizose et Kumada (1963) ont observé que dans la gamme des 50 à 90 % de capacité de rétention du sol, la minéralisation de l'azote augmente avec l'humidité et le temps d'incubation. La découverte générale est que la minéralisation est plus rapide sur sols submergés que sur sols non submergés (Patrick et Wyatt, 1964 ; Waring et Bremner, 1964 ; Borthakur et Mazunder, 1968). Birch (1958) quand à lui maintient que la dessiccation stimule la minéralisation de l'azote. Cependant, le phénomène de minéralisation lors de la dessiccation peut être masqué par les pertes dues à la dénitrification (Patrick et Wyatt, 1964 ; IRRI, 1970). Cette réduction des nitrates ou nitrites sous forme gazeuse (dénitrification) s'effectue naturellement juste après récolte quand le sol de rizière s'assèche jusqu'aux prochaines pluies. Durant cette période la nitrification de l'ammonium du sol prend place et une quantité significative de l'azote du sol est transformée en nitrate. Quand les sols sont de nouveau inondés, les conditions pour la dénitrification s'installent au fur et à mesure que l'oxygène disparaît.

Grâce à l'utilisation de l'isotope ^{15}N l'équipe de l'IRRI mesure des pertes d'azote pendant les premières semaines de submersion par dénitrification mais après deux semaines de submersion les nitrates du sol sont réduits et entrent dans le "pool" de l'azote organique (IRRI, 1966).

- La dénitrification : les conditions essentielles pour la dénitrification (matière organique facilement décomposable pour fournir l'énergie nécessaire pour la réduction des nitrates, la présence de forme oxydée d'azote et la déficience en oxygène) sont dans la plupart des cas réunies dans les rizières submergées. Il

Il y a très peu d'études quantitatives directes pour connaître l'amplitude des pertes d'azotes (McGarity et Rajaratnam, 1973 ; Rolston et al., 1976).

Cependant, les déficits enregistrés lors des expérimentations de bilan azoté et plus particulièrement celles réalisées avec l'aide de l'isotope ^{15}N montrent que la dénitrification joue le rôle majeur dans ce type de sol de rizière (Patnaik et Broadbent, 1967 ; Racho et De Datta, 1968 ; Shinde et Chakravorty, 1975 ; Patrick et Reddy, 1976).

Beaucoup d'études montrent une corrélation positive entre les taux de dénitrification et le niveau de matière organique dans le sol (Mc Garity et Meyers, 1968 ; Stefanson, 1972 ; Garcia, 1973 ; Stanford et al., 1975).

L'existence contigue dans les sols de rizières de zones aérobiques et anaérobiques contribue aussi aux pertes par dénitrification. Cette situation n'est pas seulement constatée dans les sols submergés. En sol aéré, il a été montré que la zone de dénitrification maximale est proche de surface, ceci est probablement dû à sa teneur en matière organique qui sert de source d'énergie (Rolston et al., 1976). En conditions de submersion dans la zone aérobie, l'interface sol-eau (due à la diffusion de l'oxygène de l'air) le processus de nitrification s'y développe (IRRI, 1968) de même qu'au niveau de la rhizosphère par translocation de l'oxygène de la partie aérienne aux racines (Van Roalte, 1941 ; Barber et al., 1962). Les nitrates ou nitrites ainsi produits, diffusent dans la zone de réduction et la dénitrification prend place. Reddy et al., (1976) quantifient les pertes dues au phénomène nitrification - dénitrification à plus de 50 % de l'azote total (expérience conduite en colonnes de sol). Ces pertes par nitrification - dénitrification sont favorisées par des conditions de non continuité de la submersion (Patrick et Wyatt, 1964 ; Sanchez et al., 1973 ; Reddy et Patrick,

1975).

En dépit de la reconnaissance que la dénitrification est la cause majeure des pertes d'azote, très peu de bonnes estimations quantitatives ont été faites. Néanmoins des études en serre montrent que des pertes de l'ordre de 30 % à 40 % sont courantes (De et Digar, 1954 ; Merzari et Broeshart, 1967 ; Broadbent et Tusneem, 1971). Cependant, il semble imprudent d'extrapoler ces résultats sur le terrain.

Considérant ces pertes comme importantes, certains auteurs ont cherché à déterminer des solutions afin de contrôler ce phénomène. Mais il n'y a pas de solution simple pour minimiser le problème. Une complète exclusion d'oxygène des sols submergés peut limiter la dénitrification (Broadbent et Tusneem, 1971 ; Patrick et Gotoh, 1974). La technique de placement de l'engrais NH_4^+ en profondeur dans la zone réduite, où NH_4^+ est stable, est une autre méthode. L'une des plus effectives méthodes de contrôle des pertes en azote est l'application de l'engrais NH_4^+ au moment où la plante de riz a une activité racinaire accrue afin de permettre une assimilation rapide de l'azote NH_4^+ (IRRI, 1974).

Dans les situations où la dénitrification est sévère (alternance de submersion - dessiccation comme dans les rizières de nappe) l'utilisation d'engrais à faible libération de l'azote a été prouvée bénéfique (Sanchez et al., 1973 ; Wells et Shockley, 1975).

Certaines pratiques culturales contribuent à renforcer les pertes d'azote. Des études réalisées à l'IRRI montrent que :

- une augmentation dans l'application de l'urée entraîne de fortes pertes d'azote, cependant, ces pertes sont réduites si l'urée est incorporée dans le sol quand il est humide (IRRI, 1967).

Dans les sols sulfatés-acides, très peu de pertes par vola-

.../

tilisation sont observées quelque soit le mode et la date d'application. Cependant, l'acidité extrême qui retarde l'hydrolyse de l'urée peut permettre des pertes par lessivage (IRRI, 1967).

- quand l'azote est apporté avec de la matière organique, la quantité d'azote immobilisée sous forme organique est importante et demeure non disponible pendant une durée relativement importante (IRRI, 1970).

- l'application de P_2O_5 favorise la fixation biologique de N mais seulement pendant la phase initiale de croissance de la plante.

Compte tenu de ces diverses transformations entraînant des pertes ou la non-disponibilité de l'azote, il semble important de modéliser mathématiquement l'efficacité de l'azote et interpréter effectivement la réponse à l'azote pour chaque variété de riz cultivée dans un environnement donné. Ceci permettra une fertilisation azotée plus effective.

Des études faites à l'IRRI montrent que le traitement mathématique des réponses à l'azote (rendement en grains, matière sèches) de diverses variétés de riz a une implication pratique très importante (IRRI, 1976). La régression du rendement en grain (Y) sur le niveau d'azote (x) était de la forme :

$$Y = a + bx + cx^2$$

Théoriquement les variétés ayant une valeur (a) élevée sont les variétés qui utilisent efficacement l'azote du sol et les autres facteurs de croissances ; les variétés à valeur (b) élevée sont celles qui répondent bien à l'application d'engrais azotés et les variétés à valeur (c) élevée sont celles qui très rapidement voient leur rendement décroître à doses d'engrais N croissantes. Une simple dérivation de l'équation de réponse peut donner des indications sur le niveau maximum d'azote à apporter sans décroître

Le rendement. Ce modèle mathématique de réponse à l'azote doit être combiné avec un modèle plus empirique de "taïlorisation" en matière de recommandation des quantités d'azote à appliquer pour un type de sol bien déterminé afin d'atteindre le niveau de rendement escompté. Le modèle de "taïlorisation" proposé par l'IRRI est la suivante (IRRI, 1980).

$$F_N = 40Y - 1000 S_N$$

Où F_N est la quantité d'azote préconisée en kg/ha, Y est le rendement escompté en t/ha S_N est l'azote total du sol en %.

La connaissance de l'aspect chimique des transformations de l'azote dans le sol de même que les pratiques culturales et la contribution des réponses du riz par rapport aux modèles existants/ à l'établissement des recommandations en matière de formules (types et doses d'engrais azoté).

2.b. Le phosphore (P) :

Le phosphore est un élément nutritif qui intervient dans l'augmentation du rendement. Il a une action stimulante sur le développement racinaire rendant la plante de riz plus résistante à la sécheresse (Comhaire, 1964). Le phosphore intervient aussi pendant la période de la floraison et de la maturation et peut éventuellement compenser l'effet néfaste d'un repiquage trop tardif. Aussi le P donne un meilleur tallage et une meilleure valeur nutritive.

Compte tenu de son importance en matière de fertilisation du riz, beaucoup de résultats antérieurs montrant que les sols submergés n'ont pas besoins de fertilisations en phosphore ont été révisés d'autant plus que les exportations en P par les nouvelles variétés de riz sont très importantes.

Ponnamperuma (1975) a observé que la déficience en P est

.../

peut être le plus important facteur limitant la production du riz sur les Ultisols, Oxisols, Sulfaquepts (sol sulfaté-acides), Andosols et quelques Vertisols. Aux Philippines l'Institut PCARR (1976) a recensé un grand nombre de sols carencés en P.

D'autres travaux (Kawaguchi et Kyuma, 1969 ; Cholitkul et Tyner, 1971) montrent que dans certaines régions beaucoup de sols de rizière submergés et des sols situés en zone fluvio-marine présentent des déficiences en P (sols à bas pH, faible teneur en M.O., faible CEC et faible coefficient d'absorption de P). Pour mieux interpréter les données de laboratoire en matière de P afin de faire un diagnostic correct, il est impératif de comprendre non seulement les différentes formes de P dans le sol, leur transformation, leur disponibilité et leur fixation mais aussi de bien cerner le pourquoi des réponses positives ou non de la plante au phosphore.

- Formes et transformation du phosphore dans le sol

Le phosphore existe dans le sol sous formes organique et inorganique. La forme inorganique est composée généralement de phosphate d'aluminium, de fer, de calcium et d'une forme soluble en inclusion dans les phosphates de fer et d'aluminium (Chang et Jackson, 1957). Cette dernière forme est très insoluble sur sols bien drainés et son importance est accrue en condition de submersion. Dans les sols submergés de rizière le phosphore existe principalement sous sa forme de phosphate de fer (Chang, 1965 ; Cholitkul et Tyner, 1971). Chang (1963) a observé que sur sols acides, la submersion augmente le Ca-P et le Fe-P mais réduit le Al-P ; sur sols alcalins Ca-P et Al-P subissent une augmentation et Fe-P décroît avec la submersion. Des conclusions similaires ont été faites à l'IRRI (IRRI, 1964). Cependant, la cinétique du phosphore dépend du type de sol étudié. En sol fortement acide après quelques semaines de submersion la concentration en P atteint son maximum (qui

est inférieur au maximum enregistré sur sol moins acide) et peut décroître à des valeurs nettement inférieures aux valeurs initiales (IRRI, 1964). Singhania et Goswami (1977) ont observé que du phosphore soluble dans l'eau apporté dans les sols submergés peut se reconvertir sous la forme Fe-P et Al-P. Cette conversion d'une grande quantité d'engrais - P en Fe-P peut être directe (Chang et Chu, 1961 ; Mahapatra et Patrick, 1969) ou indirecte par la formation de Al-P d'abord et après Fe-P (Chang et Chu, 1961 ; Singhania et Goswami, 1977 ; Srivastava et Pathak, 1972). Cette conversion des engrais - P en Fe-P dans ces sols est un processus lent et est fortement influencé par la présence du système racinaire et des oxydes de fer (Yuan et al., 1960 ; Chang et Chu, 1961 ; Chiang, 1963 ; Hsu, 1964 ; Singhania et Samaniego, 1973). En étudiant l'effet d'alternance submersion - dessiccation sur les formes inorganiques du phosphore, Ahmad (1967) a montré qu'après submersion, Al-P, Fe-P et Ca-P augmentent et en phase de dessiccation ils décroissent.

En conditions d'humidité faible du sol, la fixation de P est prédominante. Donc une simple différence en pluviométrie peut avoir un effet non négligeable sur la réponse en phosphore de la plante. L'alternance humectation/dessiccation augmente la fixation de P (Patrick et Mikkelsen, 1971 ; Mandal et Khan, 1975 ; Singhania et Goswami, 1977) tandis que la submersion continue semble augmenter la disponibilité du phosphore natif des sols acides mais non des sols proches de la neutralité.

- Disponibilité du phosphore. .

D'une manière générale la disponibilité en P du sol augmente avec la submersion (David, 1960 ; Mahapatra et Patrick, 1971 ; Islam et Islam, 1973). Cette augmentation du phosphore soluble dans l'eau peut être attribuée à plusieurs processus :

* libération du phosphore par la matière organique

* augmentation de la solubilité des phosphates associés à une baisse de pH due à l'accumulation de CO₂ dans les sols riches en calcaire (Ponnamperuma, 1965 ; Khan et Mandal, 1973)

* réduction des Fe-P à des formes plus solubles (Ericksson, 1952 ; Chang et Chu, 1959)

* augmentation de la solubilité des formes Fe-P et Al-P par hydrolyse causée par l'augmentation de pH accompagnant la réduction dans les sols acides et fortement acides (Ponnamperuma, 1965)

* remplacement des P par des anions organiques dans les Fe-P et Al-P phosphates (Savant et Ellis, 1964 ; Mandal, 1973)

Les caractéristiques chimiques des sols influencent l'un ou l'autre de ces processus. Dans des sols ne contenant pas de carbonate de calcium, Broeshart et al., 1965 ont observé une augmentation substantielle en P disponible sous l'effet de la submersion. Cependant, en général, Fe-P contribue le plus à renforcer la disponibilité en P, le rôle des Ca-P et Al-P sont relativement négligeables (Mandal, 1964 ; Mahapatra et Patrick, 1969).

Paul et De Long (1949) ont observé que la dessiccation qui suit la submersion généralement diminue la solubilité du phosphore natif et amené sous forme d'engrais. Savant et al., (1970) ont observé que la submersion qui suit la période de sécheresse augmente la disponibilité du P natif sur sols acides. Yuan et al., (1960) montrent que l'alternance prolongée de phase (humide-sèche) diminue le pourcentage de la forme Al-P au détriment de Fe-P donc augmente la disponibilité en P.

- Fixation du phosphore.

Dans certaines conditions, des sols présentent une faible concentration en P disponible et cependant, le riz ne répond pas à une application d'engrais - P. Dans ces cas deux causes peuvent

être recensées :

* soit la méthode d'analyse du phosphore du sol n'est pas appropriée

* soit les doses de P appliquées ne sont pas adéquates pour atteindre le plateau de valeur permettant une réponse au phosphore.

Mises à part les valeurs d'analyse en P disponible, le pouvoir fixateur du phosphore des sols demeure un facteur intrinsèque important en matière de recommandation de la fumure phosphatée. Beaucoup de travaux ont été réalisés dans ce sens. En Inde des travaux sur la réponse en engrais - P en relation avec le pouvoir fixateur du P des Vertisols, Ultisols et Entisols ont été réalisés (Krishnamoorthy et al., 1963). Sur Vertisols le pourcentage de P - disponible de l'engrais - P appliqué est équivalent à 100 moins le pourcentage en argile ; sur Ultisols et Entisols il est de 100 moins deux fois le pourcentage en argile. En appliquant la technique de la corrélation multiple Nad et al., (1975) ont montré que le % en argile et la teneur en oxyde de fer libre sont les deux facteurs dominants de la fixation de P dans les sols de rizière.

En général les sols submergés affichent moins de réponses au phosphore que les sols de riziculture pluviale stricte. Cependant, cette généralisation n'est pas toujours vraie. Des recherches menées par AICRIP (1976) montrent qu'il y a des réponses de phosphore enregistrées dans plusieurs pays sur Ultisols, Oxisols, Sulfaquents, Andolsols et Vertisols en conditions de submersion.

Goswami (1975) montre qu'en général les sols noirs (vertisols), rouges (oxisols), rouge-jaune et les sols alluviaux des côtes (sulfaquepts) répondent mieux à l'application de phosphore.

Ces observations contradictoires sont compréhensibles quand on sait que la Chimie des phosphates dans le sol, la température et l'humidité, et les situations de l'aire d'étude ont un effet

considérable sur la réponse au phosphore. Beaucoup d'autres travaux ont été réalisés sur l'effet de la fumure phosphatée et notamment sur les sols latéritiques (Oxisols) (Institut International de la Potasse - Berne, 1955). Dans ces sols latéritiques à faible CEC, les phosphates solubles dans l'eau sont vite fixés sous forme de sel de fer, d'alumine et deviennent pratiquement inassimilables par la plante (Malherbe, 1948 ; Jacob, 1958 ; Ignatieff et Page, 1959 ; Angladette, 1959 ; Chang et Chu, 1961 ; Mukerjee, 1962 ; Fox et al., 1962 ; Monteith et Donald, 1962 ; Turner et David, 1962).

C'est cette fixation qui souvent explique le peu d'effet de l'engrais - P sur ces sols. Pour annuler cet effet de non réponse, certains auteurs proposent l'application d'une fumure organique afin de retarder la fixation par le sol de l'acide phosphorique soluble apporté (Jacob, 1958). L'apport de matière organique entraîne la formation d'humophosphates qui protègent ainsi les ions PO_4 d'une fixation plus ou moins irréversible (Gros, 1962). Ceci peut s'expliquer par le blocage des charges positives des sesquioxydes par les humates. Cependant, le pH du sol devra être relevé (pH 6) pour avoir un meilleur effet de la matière organique, c'est ainsi que des engrais basiques sont fortement recommandés dans pareilles situations.

2.c. Le Potassium (K) :

Le potassium natif du sol, dans sa forme assimilable, est le fruit principalement de la dégradation physico-chimique du matériau parental. Des observations faites dans les sols de bas-fond aux Philippines ont montré une libération de K provenant de l'altération de minéraux primaires constituant la roche mère géologiquement jeune sur laquelle ces sols se sont développés. Dans un autre sens, beaucoup de sols accusent une déficience en K. Plus de 75 % des terres de la zone humide de Sri Lanka sont déficientes en K. Les

données fournies par Kawaguchi et Kyuma (1969) pour la même zone sont similaires.

Le potassium comme beaucoup d'autres éléments chimiques est particulièrement influencé par les conditions hydriques du milieu. Ponnampetuma (1965) a observé que la submersion des sols de rizière augmente la concentration de K dans la phase liquide du milieu. Islam et Islam (1973) ont observé le même phénomène. D'autres études ont montré que la submersion continue et le cycle de 30 jours d'humectation/dessiccation augmente la teneur en K échangeable.

Bien que les nouvelles variétés de riz exportent une quantité importante de K, la réponse du riz à l'application de fumure - K est très faible comparée aux autres éléments majeurs N et P. Néanmoins les sols sableux à texture grossière réagissent favorablement à l'apport de K. De nombreux travaux effectués surtout au Japon ont permis de mettre en évidence l'influence favorable de la potasse sur le tallage, la taille des grains, le poids de 1000 grains et aussi la verse (Jacob et Coyle, 1931 ; Noguchi et Sugawara, 1952 ; Noguchi, 1954 ; IIP, 1955 ; Jacob, 1958).

Les autres macroéléments (Ca et Mg, S).

La carence de ces trois éléments est assez rare dans les sols de rizière mais ils peuvent être d'une importance capitale en riziculture sèche (Patrick et Mikkelsen, 1971).

Le Ca joue un rôle non négligeable dans le sol :

- il influence la teneur en azote du sol en accélérant la décomposition des matières organiques
- il évite la rétrogradation des phosphates du sol et limite le lessivage et facilite l'absorption du potassium
- il favorise le maintien d'une teneur élevée en soufre sous forme de sulfate

.../

- il accroît l'activité microbienne et celui du molybdène qui stimule le développement des algues fixatrices d'azote (Comhaire, 1964).

Le Ca intervient de même dans la résistance à la verse. De par son action sur le relèvement du pH, il diminue les attaques cryptogamiques. Son action d'amélioration de la structure du sol permet une bonne aération de la zone racinaire et ainsi demeure efficace dans l'oxydation des produits réduits tel que Fe^{++} . Toutes ces propriétés du Calcium, peuvent faire penser à une proposition de chaulage pour améliorer la production du riz. Cependant, une meilleure connaissance de la dynamique de ces éléments en fonction du milieu est une prudence à observer. Islam et Islam (1973) ont observé en condition de submersion que les teneurs en Ca et Mg augmentent dans le temps avant d'atteindre un maximum suivi d'une réduction. Rahmatullah et al. (1976) ont observé le même phénomène en sols riches en Ca, cependant, l'allure des courbes diffère de celle de Islam et Islam. Des expériences de chaulage en Inde ont montré très peu de réponse du riz à l'application de Ca. Bhumbla et al. (1971) ont observé le même phénomène sur plusieurs années au Central Rice Research Institute de Cuttack. L'expérimentation sur culti-pots avec des sols latéritiques et alluviaux à faible pH et CEC, en condition de submersion, amène à conclure qu'il n'est pas nécessaire de chauler les sols de riz submergés sauf si les pH sont en dessous de 5 et l'Al échangeable élevé. Dyanand et al. (1976) ont confirmé ces observations et affirme la non nécessité de chauler les sols de bas-fond soumis à la submersion. D'un autre côté, Ponnamperuma (1960) a observé une réelle augmentation des rendements en riz par suite de chaulage des sols latéritiques acides de Sri Lanka. Abichandani et Patnaik (1961) et Bhaumik et Donahue (1964) ont observé la même chose sur sols rouges acides. Thenabader (1969)

a observé une réponse du riz au chaulage d'un sol argilo-limoneux (pH 5.3) et sur sols sablo-argilo-limoneux (pH 5.1) et non sur sols humifères argilo-limoneux (pH 5.4). Bhor et al. (1970) ont observé que le chaulage équivalent à 6.35 % de carbonate de calcium libre provoquait une réponse du riz. Wang (1971) enregistra une réponse du riz au chaulage sur sols latéritiques (pH 4.8) submergés, faibles en taux de saturation des bases. Subramoney et Nambiar (1969) obtiennent des réponses substantielles sur sols sulfatés-acides en Inde.

Ainsi le chaulage comme moyen d'amélioration de la production du riz ne peut être conseillé qu'après une parfaite connaissance de l'aire d'étude.

S'agissant des sulfures, des déficiences chlorotiques ont été observées depuis 1945 (Aiyer, 1945). Plus récemment Pillai et Singh (1974) ont attiré l'attention sur les possibilités de déficience en sulfure. En condition de submersion des observations ont été faites sur la réduction dans l'absorption de S (Nearpass et Clark, 1960). De même certains auteurs ont montré que les sols de plateaux présentaient des conditions plus favorables à l'assimilation du S que les sols de bas-fonds. Les études réalisées par Naik et Das (1964) en Inde montrent que les sols latéritiques, les sols rouges et les sols d'alluvions sont généralement faibles en S - assimilable tandis que les sols vertiques (noirs) ou les sols en bordure des côtes sont bien pourvus en S - assimilable de même que les sols salés. Généralement les sols à forte teneur en S - assimilable sont associés à des submersions d'eau contenant de fortes teneurs en sulfure.

La connaissance de tous ces macroéléments ainsi que leur dynamique et leur chimie sont indispensables à l'établissement d'un diagnostic valable. Cependant, ils ne sont pas les seuls à jouer

un rôle dans la nutrition minérale du riz. Les microéléments ou oligoéléments ont aussi leur importance, néanmoins seul leur interaction sera revue dans cette étude à l'exception du fer qui sera ultérieurement développé compte tenu de son importance dans la sous-région.

2.d. Les oligoéléments :

Le choix correct pour supprimer le désordre nutritif occasionné par un oligoélément est déterminé par la nature du désordre, les conditions de croissance et le statut nutritionnel du riz. Cependant, seules quelques interactions seront revues succinctement dans cette partie. Les interactions entre éléments nutritifs peuvent être compétitives ou non.

* interaction Azote - Oligoéléments.

Il a été observé que le riz cultivé dans des conditions de teneurs faibles en N, S et Mg absorbe de fortes quantités de Mg pour un développement faible et de faibles doses de fer et de phosphore (Ishida et Fujinera, 1965). Gupta et Basuchandhuri (1974) ont montré une interaction négative entre N et Mo. De même des interactions antagoniques N-Cu sont signalées dans la littérature.

* interaction P - Oligoéléments.

Sharma et al., (1968) ont montré qu'en condition de submersion ou pluviale stricte, un niveau élevé de P pourrait entraîner une carence en Zn. Deb et Zeliang (1975) n'ont trouvé aucune interaction P - Zn. Cependant, il semble que des apports de P peuvent provoquer sur les plantes sensibles des carences en Zn car, P peut se trouver énergiquement lié au Zn sous forme de phosphate de Zn insoluble en milieu peu acide.

Une interaction P - Mg a été signalée par Coronel et Wallihan (1971).

.../

L'antagonisme la plus répandue est P - Fe. Dans les sols riches en P₂O₅ (maraichage) le fer peut se retrouver bloqué, d'autre part en conditions de sols riches en fer la teneur en P assimilable est très faible, cause pour laquelle les phénomènes de toxicité ferreuse s'accompagnent le plus souvent de déficience en P.

* interaction K - Oligoéléments.

Des applications excessives de K peuvent engendrer une carence en Mg (Pasricha, 1974). Tanaka et al., (1968) ont montré l'effet bénéfique de l'application de K dans les sols accusants une toxicité ferreuse ("bronzing").

* interaction entre Oligoéléments.

Les interactions entre oligoéléments sont multiples et seulement certains seront revues succinctement.

De fortes concentrations en fer dans le sol peuvent entraîner des réductions dans l'absorption du Cu (Dokiya et al., 1968). L'interaction Fe - Mn est assez courante (Mc Hargue, 1945 ; Karim et Mohsin, 1964 ; Alam et Khan, 1966). Cette interaction a même poussé certains auteurs à approuver l'utilisation de Mn pour améliorer les sols présentant des teneurs excessives en fer. La chlorose due au fer semble être associée à de fortes teneurs en Mn dans la plante et l'inverse est vrai, le phénomène "Akiochi" du riz est lié à de fortes teneurs en fer et une faible concentration en Mn.

Des antagonismes entre le zinc et les autres oligoéléments sont multiples et sont bien fournis dans la littérature : Zn - Cu (Chao et Tsui, 1963 ; Chaudhry et al., 1973 ; Kausar et al., 1976), Zn - Mn (Ishizuka et Ando, 1968 ; Katyal et Ponnampereuma, 1974), Zn - Fe et Zn - Mo (Giordano et al., 1974 ; Deb et Zeliang, 1975 ; Rashid et al., 1976).

La réduction de l'absorption du Zn par le riz due à une forte disponibilité en Mn, Fe et Mg, est plus évidente dans les sols à teneur faible en zinc que sur les sols à teneur moyenne en zinc. Cependant, l'effet antagonique Zn - Fe, Zn - Mn est bien marqué pendant la phase initiale de submersion.

Une bonne compréhension de ces interactions et du statut nutritionnel du milieu dans lequel le riz est cultivé permettront de mieux cerner les problèmes liés au milieu édaphique afin d'établir un diagnostic correct pour mieux élaborer des solutions d'amélioration foncière plus fiables. Cependant, les problèmes de sol ne relèvent pas toujours uniquement des carences nutritionnelles.

D/ LES PROBLEMES DE SOLS AUTRE QUE LES PHENOMENES DE CARENCE SUSCEPTIBLES D'ETRE RENCONTRES DANS L'AIRE D'ETUDE

1. La toxicité ferreuse :

1.a. Généralités :

La toxicité ferreuse n'est observée que dans les sols inondés. Elle est associée à un excès de fer soluble et est probablement le facteur limitatif le plus important dans les sols acides en zone tropicale y compris le Sénégal (IRRI, 1975).

Les sols les plus susceptibles à ce type de désordre nutritionnel sont :

- les sols jeunes sulfatés-acides (sulfaquepts) (Tanaka et Yoshida, 1970)
- les sols sableux d'alluvions ou de colluvions à mauvais drainage (Hydraquepts, Tropaquepts, Fluvaquepts) des vallées recevant les eaux par écoulement hypodermique provenant des sols ferrugineux des plateaux adjacents (Virmani, 1976)
- les sols argileux d'alluvions ou de colluvions généralement acides et kaolinitiques (Tropaquepts et Tropaquepts).

Bien que le fer soit un élément nutritif essentiel pour le riz, il devient toxique à forte concentration. Le pourcentage de grains non remplis est associé à la réduction de rendement de la plante affectée. Cependant, le niveau de toxicité est loin d'être totalement cerné.

En solution de culture des concentrations toxiques allant de 10 , 20 ppm à 500 ppm ont été observées (Ishizuka, 1961 ; Tanaka et al., 1966).

Cette large variation peut être imputée aux variétés de riz, aux critères de toxicité utilisés, à la concentration d'autres substances dissoutes, à la susceptibilité du riz à différentes phases de croissance et aux facteurs environnementaux.

Sur sols pauvres en P, K ou riche en inhibiteurs de la respiration (H_2), des concentrations aussi faibles que 30 ppm ont été trouvées toxiques pour le riz (Van Breemen et Moormann, 1978).

Les symptômes de "Bronzing" apparaissent généralement à des concentrations en Fe^{++} de l'ordre de 30 à 80 ppm en culti-pots (Ponnamperuma, 1958) à 100 - 500 ppm en solution de culture (Okuda et Takahashi, 1965 ; Tanaka et al., 1966) et de l'ordre de 300 - 400 ppm sur sols bien pourvus en éléments nutritifs (IRRI, 1972).

Utilisant le critère de concentration en Fe^{++} dans la plante, il a été observé que la teneur en fer dans la plante pour une variété donnée cultivée et à un temps et une place donnée était bien corrélée au degré de "bronzing" (IRRI, 1965 ; Inada, 1965). Mais d'autres auteurs ont montré que les teneurs en fer dans les plantes de différentes variétés de riz, toutes modérément affectées par le "bronzing", pouvaient varier de 110 à 1100 ppm (Jayawardena et al., 1977). Mieux encore, des plantes apparemment saines peuvent contenir des concentrations en fer de 1000 - 1500 ppm (Tanaka et Yoshida, 1970

Ces observations compliquent le diagnostic de zones potentiellement susceptibles à la toxicité ferreuse. Compte tenu de ces limitations d'analyses ponctuelles du sol et de la plante, une approche électrochimiques plus dynamique peut dans certains cas élucider le problème.

1.b. Chimie et électrochimie dans des sols submergés :

Les rizières submergées peuvent souffrir un désordre nutritionnel dû à, une intense réduction, une production de toxines, une accumulation de fer, une pression partielle de CO₂ élevée ou à un pH évolutif.

Le changement le plus important qui accompagne la submersion demeure la réduction du Fe³⁺ à une forme Fe²⁺ (IRRI, 1963).

Les études faites sur l'utilisation de l'électrode de platine pour la caractérisation du potentiel redox (Eh) et du pH de sol, donnent des résultats très variables (Ponnamperuma, 1965 ; IRRI, 1970).

Cependant, en assumant que la solution du sol est la phase thermodynamiquement significative Ponnamperuma et al. (1967) ont pu établir une relation Eh - pH en fonction des espèces d'ions fer présentes dans la solution du sol ; le potentiel ainsi mesuré étant un potentiel mixte. Van Breemen (1969) a pu montrer que l'équilibre qui gouverne la solubilité du fer dans le sol n'est pas entièrement compris bien que ses résultats sont similaires à ceux de Ponnamperuma avec de légères différences probablement dues à l'absorption d'oxygène à la surface de l'électrode de platine (Bohn, 1971). Ces mêmes approches ont été réalisées au Canada en prenant comme hypothèse l'Hématite - Fe⁺⁺ comme système redox pour le calcul d'un potentiel de référence E° (Olomu et al., 1972). Gotoh et Patrick (1972) ont montré qu'une augmentation en fer soluble est favorisé

par une réduction de Eh et du pH. A pH 6 - 7 le potentiel redox critique est entre 300 et 100 mV, à pH 5 une importante quantité de fer échangeable est notée à Eh = 300 mV. Quand Eh est entre 100 mV et 250 mV des concentrations de l'ordre de 3500 ppm de Fe⁺⁺ sont enregistrées.

L'aspect mathématique de la thermodynamique des sols submergés n'est pas revu dans cette étude mais il n'en demeure pas moins important. Seul l'influence de Eh - pH est résumé dans ce travail.

Le Eh du sol décroît généralement avec la submersion. A pH initial bas, la concentration de Fe⁺⁺ augmente avec la réduction des oxydes de fer par la matière organique. Cette réduction du fer consomme des acides, entraîne la remontée et la stabilisation du pH/ entre 6 et 7 après deux semaines de submersion (Ponnamperuma, 1965). Cette capacité des sols submergés de tamponner le pH à 6 - 7 est due au système redox du fer, du manganèse et de l'acide carbonique (Ponnamperuma et al., 1966, 1967, 1969). Si un sol acide contient peu de fer réductible et présente des teneurs en matière organique importantes, le pH peut ne pas atteindre des valeurs proches de la neutralité même après plusieurs semaines de submersion.

D'autres critères viennent compliquer le diagnostic des sols submergés tel que l'accumulation de H₂S (Mitsui, 1955) et peuvent aggraver la toxicité ferreuse (Tanaka et al., 1968).

Donc les analyses de sols et plantes uniquement sont en général insuffisantes pour évaluer l'effet négatif de la toxicité ferreuse. Il est nécessaire de déterminer la dynamique de ce phénomène négatif et le mettre en relation avec les conditions édaphiques et hydrologiques du milieu d'étude.

Un suivi de plusieurs années est souvent requis. L'absence d'un tel suivi est à l'origine des échecs de projets d'amélioration foncière (IRRI, 1977).

1.c. Amélioration foncière :

Des solutions d'amélioration sont listées mais il est impératif pour chaque cas de toxicité ferreuse d'en déterminer les causes et de tester les solutions préconisées.

Dans les sols jeunes sulfaté-acides, les solutions améliorantes à envisager pour lever les contraintes de toxicité ferreuse sont : le chaulage (il est nécessaire de tester l'effet de la chaux sur le rendement et déterminer l'effet résiduel), l'utilisation de MnO_2 et/ou chaux + MnO_2 , la submersion prolongée, éviter l'abaissement de la nappe au niveau inférieur de la limite supérieure du sous-sol pyriteux et l'application de phosphate.

Pour les autres sols souffrant de la toxicité ferreuse, deux groupes de mesures améliorantes peuvent être décrites :

* celles qui tentent de réduire la concentration en Fe^{++} (chaulage, drainage, addition de la matière verte ou compost déconseillé par l'auteur de ce mémoire)¹

* celles qui tentent de corriger d'autres carences nutritionnelles accompagnant le problème du fer (brûler ou incorporer la paille de riz et application de produits basiques).

Dans les conditions de toxicité ferreuse liée à un écoulement hypodermique des eaux en provenance du plateau, toute application de N, K est lessivée ; dans pareil cas l'interception de l'écoulement par canal peut être envisagée.

(1) Si la submersion tamponne les pH à 6 - 7, l'effet de la chaux sur les pH est négligeable. Le drainage peut entraîner une oxydation des sulfures dans certains cas. La matière organique peut réduire le Eh et produire des acides qui peuvent être toxiques et aussi peut aider à la libération de Fe^{++} .

Il existe d'autres solutions moins onéreuses :

* reporter la date de repiquage jusqu' après 2 semaines de submersion car après deux semaines de submersion le pH monte, le Eh décroît, la concentration en Fe^{++} décroît de même que P_{CO_2} et les acides organiques (IRRI, 1963, 1964).

* reporter la submersion jusqu'à une semaine avant initiation paniculaire.

2. Sols sulfatés-acides (Sulfaquents ; Sulfaquepts) :

Des milliers d'ha de la zone côtière sont occupés par ces sols qui sont potentiellement aptes à la riziculture. Leur organisation, mécanisme de fonctionnement et utilisation / ^{dans} l'aire d'étude sont très bien résumés par Touré et Arial (1977) ; Touré (1984) et Niane (1985).

Les sols potentiellement sulfaté-acides (sulfaquents) occupent la zone soumise aux marées. Ils ont une teneur élevée en pyrite, faible en bases et évoluent vers des sols sulfaté-acides lors d'un drainage. Les jeunes sols sulfaté-acides (sulfaquepts) quand ils sont plus lessivés, deviennent des "sulfic tropaquepts" dont les facteurs limitants à la production du riz sont le plus souvent la toxicité ferreuse, la carence en phosphore et la toxicité aluminique dans certains cas.

L'utilisation de la chaux comme amendement (sur les sulfaquepts), du phosphore (sur les sulfic tropaquepts) est importante dans l'augmentation de la productivité du riz dans de tels environnements. Cependant, la clef du problème demeure un bon "water management" particulièrement dans les zones de sols sulfaté-acides soumises aux marées.

3. Les sols salés et/ou sodiques :

Ce sont les sols de tannes. Leurs caractéristiques, leurs

.../

techniques de récupération et leurs propriétés chimiques sont bien résumé par Sylla, (1983).

E/ ETUDE DE CAS DE FERTILISATION EN BASSE CASAMANCE

Beaucoup d'études de fertilisation ou de technique de levée des contraintes édaphiques ont été menées à la station de Djibélor. Cependant, beaucoup de ses acquis n'ont pas fait l'objet d'une application généralisée au niveau de l'aire d'étude. Il est important voire capital pour toute étude de fertilisation, de recenser ces acquis, afin de définir les conditions d'une application généralisée et de dégager de nouvelles perspectives de recherche

1. Fertilisation des sols de plateau (sols ferralitiques ou ferrugineux) :

Très peu d'études de fertilisation ont été faites sur ces types de sol pour la culture du riz en condition pluviale. Les études faites par HADDAD et Seguy (1972) sur le plateau de Séfa n'ont montré aucune contrainte édaphique tant au niveau des éléments majeurs que des oligo-éléments ; de même, aucune contrainte liée au parasitisme tellurique n'a été décelé. Cependant, les études menées par Siband (1974 - 1976) et Diatta (1975 - 1978) citées par Niane (1984) révèlent un appauvrissement des sols rouges de plateau. Sur le plateau de Djibélor l'ensemble des contraintes édaphiques sont dégagées récemment (Niane, 1984). De même une étude très approfondie de l'évolution de la fertilité des sols de plateau sous culture a été faite (SARR, 1978).

2. Fertilisation des sols de transition (petites vallées intérieures et bordure du plateau) :

Des études de fertilisation minérale et organique ont été faites sur ces types de sol . Leurs caractéristiques chimiques et électrochimiques en condition de submersion ont été largement

développées.

Les sols de petites vallées intérieures et de bordure de plateau se caractérisent par un milieu réduit, un pH près de la neutralité en submersion. Les excès de fer soluble, d'acide organique et de matière oxydable sont les contraintes les plus marquantes pendant la phase d'intense réduction (un mois après la submersion). (Bèye et al. (1974) en étudiant ces sols au niveau physico-chimique et électrochimique, ont pu dégager des propositions d'améliorations foncières :

* sur sols hydromorphes non salés aptes à fournir beaucoup d'éléments nutritifs dont les contraintes majeures sont la forte teneur en matières oxydables, en acides organiques et un bas niveau de Eh, des remèdes tel que l'utilisation de MnO_2 pour relever le Eh ou la présubmersion afin d'éviter le pic de concentration d'éléments toxiques sont préconisés. Quand le labour à plat est adopté, le paillage peut donner des rendements intéressants (IRAT, 1970).

D'autres études électrochimiques plus récentes éclairent d'un jour nouveau le comportement des sols en submersion (Touré et Niane, 1980 ; 1981).

* sur sol limono-sableux, acide et légèrement salé, une élimination de l'excès de sel et un apport de fumure P peut satisfaire. La forme soluble de P donne de très bons résultats grâce à son action de "starter" en début de cycle (Bèye, 1973 (b)).

* sur sol sableux de transition, un apport d'amendement organique, un phosphatage de fond (400 kg/ha) et une fumure d'entretien NPK sont recommandés. Le paillage seul n'a pas donné de résultats (IRAT, 1970).

* sur sol ferrallitique limono-argileux (faible fertilité, milieu réduit teneur en fer élevée), un apport de fumure et un décalage

du repiquage à quatre semaines après submersion pour éviter le pic du fer ou un chaulage sont préconisables.

Une étude plus récente menée par Touré (1976) a pu passer en revue un ensemble de problèmes liés à la fertilisation de ces sols :

* Les techniques d'apport de l'azote, fonctions du moment de la minéralisation maximale de l'azote du sol, ont permis une première conclusion : 1° les rizières filtrantes pauvres (sols sableux) donnent de meilleurs rendements quand un apport global de N en couverture est fait trois à quatre semaines après repiquage ; 2° dans les rizières de talweg (sols argileux), l'application fractionnée donnait de meilleurs résultats cependant, aucune conclusion définitive n'a été avancée. Aussi, ces techniques d'apport doivent être testées de nouveau en tenant compte des possibilités de perte par lessivage lors des apports globaux sur sols filtrants.

* Touré (1976) a aussi étudié l'utilisation de NPK (8.18.27) et il a montré l'effet dépressif de K sur les rendements. En combinaison avec la paille, Touré (1976) propose : 1° sur rizière de bas-fond l'utilisation de NP (60 - 40) ou NPK (60 - 40 - 40) avec paille car celle-ci élimine le déséquilibre créé par K. 2° sur rizière douce de plaine (texture grossière et très pauvre) l'utilisation de NP (100 - 40) et de la paille en condition de sols acides ; le caractère acidité faisant ressortir l'effet de la paille. Cependant, dans les sols de plaines de Casamance, la paille favorise le blocage de N et renforce l'état de réduction. Ainsi, il a été observé un effet positif de K sur les rendements de même que K plus paille sur sols argileux-acides moyennement pourvus ou riches en matière organique (Bèye, 1974 ; Bèye, 1977 (b)). Touré (1976) recommande une grande prudence quant à l'enfouissement de la paille. Toutefois la dose de 5 t/ha en double culture avec enfouissement en fin de cycle peut être recommandée, elle doit être accompagnée d'un phosphatage de fond (400 kg/ha/culture) et

d'une fumure d'entretien 100N-40P-50K dont l'azote de couverture apporté quatre semaines après repiquage. Dans ce même travail l'auteur attire l'attention sur les possibilités de carence en silice et propose des actions de recherche allant dans ce sens.

Un autre travail sur la nutrition azotée du riz a été faite par Ganry (1978).

Ce travail est particulièrement intéressant pour la riziculture assistée de nappe. Sur les sols gris de bassin versant regis par une nappe phréatique pour les besoins hydriques du riz, Ganry (1978) montre que même sans utilisation d'engrais N les rendements étaient corrects (2,5 t/ha). L'apport de N par la nappe était de l'ordre de 15 à 25 kg/ha. C'est ainsi que par soucis d'économie d'engrais N l'auteur propose l'enfouissement de la paille en fin de cycle et l'engrais N uniquement comme starter en début de cycle comme méthode de fertilisation. Toujours guidés par ce souci d'économiser l'engrais N, Touré et Kouma (1980) afin d'éviter le maximum de perte de N ont testé les engrais "N retard" (S.C.U. et N lignine) comparés à l'urée et au sulfate d'ammonium. Cependant, l'urée donnait des meilleurs rendements en grains. D'autres études ont tenu compte du régime hydrique (submersion-présubmersion) sur les paramètres électrochimiques (Bèye, 1977 (a)). Ces études ont montré que la présubmersion ou la submersion continue sur sol sableux étaient défavorables mais pas sur sols gris limono-sableux. La submersion n'avait aucun effet défavorable sur le paillage. L'ensemble de ces techniques d'amélioration des sols de transition devront dans un futur proche faire l'objet d'une pré vulgarisation pour qu'une application généralisée de ces travaux soit entreprise en milieu paysan ; Seul un réajustement au niveau des doses de fumure à un optimum économique actuel semble impératif.

3. Fertilisation et Amélioration des sols sulfaté-acides :

Les sols sulfatés-acides sont des sols d'origine fortement liée à la mangrove. Ce sont des sols très acides fortement chargés en sels solubles et dont la production de toxines intervient tardivement par rapport à la submersion.

Les contraintes principales sont l'excès de sel, de fer soluble, d'aluminium, d'acide organique, de sulfate, de mercaptan et autres (Bèye et al., 1974). Bèye (1977 (c)) leur donne le nom de sols ingrats et résume dans son étude l'ensemble des contraintes intrinsèques, susceptibles de réduire la production du riz ou même d'en empêcher toute possibilité de culture. Divers auteurs ont proposé des remèdes afin de mettre en valeur ces surfaces non négligeables pour la culture du riz.

* Apport d'amendement : compte tenu de leur comportement chimique et électrochimique durant la submersion, différents types d'amendement ont été proposés. Pour les sols sulfatés-acides qui conservent un bas niveau de pH après plusieurs semaines de submersion, le relèvement du pH par chaulage et/ou par apport de MnO_2 est recommandé (Bèye et al., 1974).

L'excès de sel peut être réduit par un lessivage prudent et un apport de fumure minérale doit nécessairement tenir compte des possibilités de stimulation de l'activité microbienne afin d'éviter toute toxicité ferrique. Touré (1980) a observé un effet négatif de la chaux et de l'herbe verte sur le riz (milieu plus réducteur) et la cendre de bois maintenait l'effet bénéfique du lessivage tandis que la présubmersion avait un effet dépressif sur la pression du fer.

* Fertilisation : La combinaison des phosphates et de la chaux a donné de très bons résultats (Bèye et al., 1974 ; Khouma et Touré, 1981). Bèye (1973 (a)) observe un effet bénéfique du P et N avec

un effet N moins marqué. Dans un futur proche il semble intéressant de dégager la technique d'amélioration la plus appropriée et la plus économique pour un transfert en milieu rural.

F/ NOUVELLE APPROCHE PLURIDISCIPLINAIRE

Depuis 1967 plusieurs études ont été menées en Basse et Moyenne Casamance tant sur le milieu édaphique support et réservoir de la plante qu'au niveau des autres disciplines. Cependant, toutes ces approches ont été le plus souvent menées sous l'optique d'une seule discipline. Un souci d'intégration de plusieurs facteurs a poussé à la naissance de la nouvelle démarche scientifique pluridisciplinaire pour tenir en compte le sol, la fumure, les insectes, les maladies, l'eau, les variétés et l'aspect économique dans la production du riz à moindre coût. Ainsi la nouvelle équipe a établi un protocole d'ensemble où plusieurs de ces facteurs et leurs interactions peuvent être mesurés afin d'aboutir à des propositions concrètes en termes de quand, comment, où, produire du riz.

Tableau 1 : Rôle des éléments nutritifs du sol sur la plante de riz
et quelques symptômes de leur carence

Eléments	Fonctions dans la plante	Symptômes de carence sur le riz
Azote (N)	<ul style="list-style-type: none"> - constituant de la chlorophylle, du protoplasme, des protéines et des acides nucléiques. - augmente la croissance et le développement des tissus vivants - augmente la teneur en protéine des grains. 	<p>Les symptômes varient en fonction du stade de développement</p> <ul style="list-style-type: none"> - en début de croissance, les feuilles sont jaunes à jaune - verdâtre plus une réduction de la croissance. Si la carence persiste à la maturité le nombre de grains par tête est réduit. - si la carence n'intervient qu'en fin de croissance, les vieilles feuilles sont jaunâtres et les jeunes feuilles semblent normales.
Phosphore (P)	<ul style="list-style-type: none"> - constituant des phosphatases, des acides nucléiques, des phospholipides et des coenzymes NAD, NADP et ATP. constituant de certains acides aminés 	<ul style="list-style-type: none"> - réduction du tallage, réduction de croissance et de la formation du grain - feuilles vert-foncées très érigées, - Pour certaines variétés, les vieilles feuilles tournent à l'orange ou pourpre

.../

Tableau 1 (suite) (a)

Eléments	Fonctions dans la plante	Symptômes de carences sur le riz
Phosphore (P) (suite)	<ul style="list-style-type: none"> - constituant des chromosomes, nécessaire dans la division cellulaire, stimulant du développement racinaire - stimulant de la floraison, nécessaire pour la croissance méristématique et pour le développement du grain 	<ul style="list-style-type: none"> - la carence en P peut être observée dans les sols fortement acides, les sols sulfatés-acides, les tourbes et les sols à alkali
Potassium (K)	<ul style="list-style-type: none"> - activateur d'enzymes dans la photosynthèse, dans le métabolisme des protéines et hydrates de carbone - intervient dans la translocation des hydrates de carbone ; dans la synthèse des protéines et la maintenance de leur stabilité, dans la perméabilité de la membrane, dans le contrôle du pH et au niveau de l'utilisation de l'eau dans la régulation stomatale - augmente la résistance et la stabilité de la plante contre les maladies - augmente la taille du grain - augmente l'enracinement 	<ul style="list-style-type: none"> - feuilles noir-verdâtres, tallage faible plante rabougrie - quand la carence est sévère, une décoloration jaune-orange à jaune-brun est observée au niveau des vieilles feuilles sur la partie supérieure du limbe et progresse vers la base. Des taches nécrotiques peuvent être observées sur le limbe. La taille et le poids du grain peuvent être réduits. - la carence en K est fréquemment observée dans les sols à texture grossière ou dans les sols tourbeux

.../

Tableau 1 (suite (b))

Eléments	Fonctions dans la plante	Symptômes de carences sur le riz
Calcium (Ca)	<ul style="list-style-type: none"> - constituant de la membrane cellulaire et nécessaire pour une mitose normale - aide à la stabilité membranaire et la maintenance de la structure chromosomique - activateur d'enzyme (ATP, Phosphatase) - neutralise les acides organiques 	<ul style="list-style-type: none"> - pas souvent observable sur le terrain puisque masqué par l'effet d'acidification - Les jeunes feuilles sont les premières touchées et leur bourgeon terminal détériore en se desséchant - Les feuilles se courbent
Magnésium (Mg)	<ul style="list-style-type: none"> - constituant de la chlorophylle - activateur d'enzyme - permet l'absorption et la translocation de P - aide le mouvement des sucres au sein de la plante 	<ul style="list-style-type: none"> - chlorose interveinale chez les vieilles feuilles - d'abord les petites feuilles et elles se courbent vers le haut à partir de la périphérie
Sulfures (S)	<ul style="list-style-type: none"> - constituant de certain amino-acides - intervient dans le métabolisme des vitamines, biotine, thiamine et coenzyme A - aide à la stabilité structurale des 	<ul style="list-style-type: none"> - chlorose des jeunes feuilles puis jaunissent des vieilles feuilles, plante rabougrie, réduction du tallage - la carence en S est fréquente dans les sols

.../

Tableau 1 (suite (c))

Eléments	Fonctions dans la plante	Symptômes de carences sur le riz
Soufre (S)	protéines	des régions humides ayant une faible teneur en M.O. l'inondation aggrave la situation en rendant insoluble le peu de S soluble en condition oxydée.
Silice (Si)	<ul style="list-style-type: none"> - aide la plante à avoir une bonne tenue - efficience de la photosynthèse 	- chute des feuilles
Zinc (Zn)	<ul style="list-style-type: none"> - intervient dans la biosynthèse de l'acide indole acétique - constituant de plusieurs métallo - enzymes - joue un rôle dans la synthèse des acides aminés et des protéines - assiste l'utilisation de P et N par la plante 	<ul style="list-style-type: none"> - blanchissement des feuilles 2 - 4 semaines après semis. Des petits points brunâtres chez les vieilles feuilles qui s'élargissent la feuille finit par prendre une coloration brune et meurt. La carence en Zn est souvent associée aux sols : calcimagnésien, à alkali, ou tourbeux ou aux sols volcaniques et aux sols submergés pendant une longue période dans l'année. Cette déficience s'aggrave avec l'application de N et P.

.../

Tableau 1 (suite (d))

Eléments	Fonctions dans la plante	Symptômes de carences sur le riz
Cuivre (Cu)	<ul style="list-style-type: none"> - constituant de la cytochrome oxidase et de plusieurs autres enzymes - intervient dans la formation de la vitamine A 	<ul style="list-style-type: none"> - limbe jaune et recourbé, tallage intermédiaire - fréquence dans les sols riche en P, en N et en Zn ou sol pauvre en Cu (< 6 ppm) pour sols miraux et < 30 ppm sur sols organiques
Fer (Fe)	<ul style="list-style-type: none"> - intervient dans la synthèse et la maintenance de la chlorophylle - composant de plusieurs enzymes - joue un rôle important dans le RNA 	<ul style="list-style-type: none"> - typique chlorose interveinale ; jeunes feuilles d'abord ; les pointes et les périphéries de la feuille gardant leur couleur longtemps
Manganèse (Mn)	<ul style="list-style-type: none"> - catalyseur de plusieurs réactions enzymatiques surtout dans le métabolisme du N et Co, synthèse de la chlorophylle - intervient dans la respiration - contrôle du potentiel rédox au niveau de la cellule 	<ul style="list-style-type: none"> - chlorose entre les veines - souvent dans les sols acides ou alcalins ; drainage naturelle pauvre, sols riches en Fe, Cu, Zn ; climat sec ; faible intensité lumineuse faible température ; sol à faible teneur en M.O. accompagné d'acidité
Bore (B)	<ul style="list-style-type: none"> - dans l'activité de certains enzymes - élément complexant 	<ul style="list-style-type: none"> - mort de la plante jeune - texture grossière des feuilles

Tableau 1 (suite (e))

Eléments	Fonctions dans la plante	Symptômes de carence sur le riz
Bore (B)	<ul style="list-style-type: none"> - augmentation de la perméabilité membranaire - dans la synthèse de la lignine - essentiel dans la division cellulaire - associé à l'absorption du Ca - régulation du rapport P/Ca 	<ul style="list-style-type: none"> - racine rabougrie, pas de fleurs, des points noirs sur les parties épaissées de la racine - fréquences signalées dans les zones à fortes pluviométrie ; excès d'intensité lumineuse ; dans les sols alluviaux, les sols organiques, les regosols.
Molybdène (Mo)	<ul style="list-style-type: none"> - associé dans l'utilisation et la fixation de N - constituant du nitrate réductase requis par Rhizobia dans la fixation de N 	<ul style="list-style-type: none"> - chlorose interveinale des feuilles basales et courbure des margelles - fréquence dans les régosols acides, les podsols acides, les sols organiques acides dans les sols ayant beaucoup de fer libre
Chlore (Cl)	<ul style="list-style-type: none"> - activateur d'enzymes - dans la rétention d'eau 	<ul style="list-style-type: none"> - flétrissement des petites feuilles à partir des sommets, suivi de chlorose et finalement dessèchement

CHAPITRE II

TECHNIQUES ET METHODES (1)A/ DISPOSITIFS ET TRAITEMENTS

Deux dispositifs statistiques ont été utilisés. Le premier dispositif en split-split-plot qui comprend les doses croissantes d'engrais azotée avec P et K fixe (Djibélor).

Le deuxième dispositif est un split-plot avec des doses croissantes de NPK (Katouré).

1. Dispositif en split-split-plot et traitements :

Le dispositif est un split-split-plot qui comprend trois répétitions : chaque répétition est divisée en quatre parcelles qui constituent les 4 niveaux d'azote (N0, N1, N2, N3).

Chaque niveau d'azote ou grande parcelle est subdivisé en deux sous-parcelles représentant les doses de fongicides (C0, C1). Chaque sous-parcelle est divisée en cinq (5) parcelles élémentaires ou sous-sous-parcelles représentant les variétés à tester :

- en grandes parcelles (19,50 m x 16 m = 312 m²)

Les niveaux d'azote :

N0, N1 = 25N/ha soit 1,73 kg/GP : 2/3 à 20 JAS = 1,15 kg, 1/3 = 0,580

N2 = 50N/ha soit 3,43 kg/GP : 2/3 = 2,28 kg, 1/3 = 1,14 kg

N3 = 100N/ha soit 6,86 kg/GP : 2/3 = 4,56 kg, 1/3 = 2,28 kg.

- en sous-parcelles (19,50 m x 8 m = 156 m²)

Les traitements fongicides : C0 : sans traitements fongicides ;

C1 = 800 g/ha de BEAM dans 400 l d'eau soit 7,8 g/3,91 l d'eau.

Le traitement effectif ne concerne que la bande des variétés à tester (19,50 m x 5 m = 97,50 m²).

(1) les dispositifs utilisés ont été implantés par le souci de la pluridisciplinarité (MBODJ et al., 1984). Un autre dispositif en milieu contrôlé pourrait mieux fixer les conclusions, cependant, des contraintes exogènes ont fait que cette partie de l'étude n'a pas été réalisée.

- en sous-sous-parcelles (variétés à tester) (5 m x 2,10 m = 10,5 m²)

NB : les sous-sous-parcelles (variétés à tester) sont séparées les unes des autres par 5 lignes de variétés résistantes.

Ce dispositif est ainsi implanté :

+ les grandes parcelles comprennent 2 sous-parcelles. Les 5 lignes (1ère bande) de 144 B/9 que comprend chaque sous-parcelle sont vers l'extérieure et les 3 autres lignes de 144 B/9 (4e bande), se juxtaposent au milieu de la grande parcelle (la 3e bande étant commune, il y a 5 lignes de 144 B/9 au milieu).

+ les sous-parcelles comprennent 4 bandes :

. une première bande de 5 lignes (de 19,50 m x 1,20) de 144 B/9 ou d'IR1529.680.3 ou BKN6986.38.1 semées dans le sens de la longueur de la grande parcelle (Résistante).

. une 2e bande accolée à la première et comprenant 3 lignes de 19,50 de variétés infestantes. Lesquelles sont également semées parallèlement à la 1ère bande.

. la 3e bande comprend les variétés à tester, semées à 30 cm et perpendiculairement aux 2 premières bandes.

. la 4e bande semées perpendiculairement aux variétés à tester, à 30 cm d'elles, comprend 3 lignes de 144 B/9 ou d'IR1529.680.3 ou BKN6986.38.1.

+ la sous-sous-parcelle (variété) est composée de 7 lignes de 5 m par variété. Elles sont espacées de 30 cm les unes des autres (longueur de la ligne = 5 m ; interligne = 30 cm). 5 lignées d'IRAT10 (144 B/9) en riziculture pluviale, d'IR1529.680.3 en riziculture submergée cycle court et cycle moyen et BKN6986.38.1 en riziculture profonde séparent les variétés à tester (les unes par rapport aux autres).

Conditions de culture :

- semis direct
- fumure de base à enrober avec la reprise de labour :
 - . 40 P₂O₅/ha soit 88,88 kg/ha de supertriple ou 2,773 kg/GP
 - . 50 K₂O/ha soit 83,33 kg/ha de Kcl ou 2,600 kg/GP
- fumure azoté ainsi fractionnée :
 - . riziculture submergée en vallée profonde : 1/3 à 7 jours après levée ; 1/3 à 30 JAS et 1/3 à 60 JAS
 - . partout ailleurs : 2/3 à 20 JAS et 1/3 à 40 JAS.
- traitements insecticides et desherbage à la demande
- traitements fongicides : 1 traitement à 25 JAS et 2 traitement après épiaison.

Echantillonnage :

- sols : au semis à raison de 5 échantillons par niveau d'azote et par répétition
- à la récolte : sur chaque variété, faire échantillon de feuilles.

2. Dispositif en split-plot et traitements :

- en grandes parcelles (10 x 12 m = 120 m²) répétées 4 fois, les niveaux de fumure NPK : A0 = sans fumure ; A1 = 25 % de la fumure préconisée (50 kg/ha de 8.18.27, soit 600 g/GP + 37,5 kg/ha d'urée) soit 450 g/GP ; A2 = 50 % de la fumure préconisée (100 kg/ha de 8.18.27, soit 1,200 kg/GP + 75 kg/ha d'urée, soit 900 g/GP ; A3 = 100 % de la fumure préconisée (200 kg/ha de 8.18.27, soit 2,400 kg/GP + 150 kg/ha d'urée, soit 1,800 g/GP).

- en sous-parcelles (10 x 2 m = 20 m²) les variétés :
+ en riziculture pluviale assistée d'une nappe : V1 = IRAT 112 ;
V2 = IRAT 133 ; V3 = DJ12.519 ; V4 = Barafita ; V5 = TOX 728.

.../

+ en riziculture submergée non profonde :

1) variétés de cycle court : V1 = TOS 103 ; V2 = KAU 1661 ; V3 = C 1322.28 ; V4 = BW 2481 ; V5 = DJ 684 D

2) variétés de cycle moyen : V1 = B 2360 ; V2 = IR 1529.680.3 ; V3 = IR 2071.568 ; V4 = IET 6056 ; V5 = Br 51.46.5.

Conditions de culture :

- semis direct en lignes espacées de 30 cm ; 7 lignes de 10 m par variété et par répétition

- fumure de base est apportée au dernier désherbage avant le semis sous forme de NPK (8.18.27) en raison de 0kg/ha, 50kg, 100kg/ha et 200kg/ha respectivement pour A₀, A₁, A₂, A₃.

- fumure azoté complémentaire est ainsi fractionnée :

Nappe, vallée peu profonde : 2/3 à 20 JAS et 1/3 à 40 JAS soit :

A₀ = 0 à 20 JAS et 0 à 40 JAS

A₁ = 37,5 kg/ha d'urée, soit 450 g/GP : 2/3 = 300 g et

1/3 = 150 g

A₂ = 75 kg/ha d'urée, soit 900 kg/GP : 2/3 = 600 g,

1/3 = 300 g

A₃ = 150 kg/ha d'urée, soit 1,800 kg/GP : 2/3 = 1,200 g,

1/3 = 600 g.

- traitements insecticides et désherbage à la demande ;

- traitements fongicides à la demande.

Echantillonnage :

- sols : au semis à raison de 5 échantillons par niveau de NPK et par répétition

- à la récolte : sur chaque variété, faire échantillon de feuilles.

.../

B/ ANALYSES DE LABORATOIRE

Les analyses de sols sont faites avec les méthodes usuelles. L'impossibilité de faire tous les oligo-éléments et la silice ont contraint à faire un diagnostic moins complet indépendamment de la volonté de l'auteur. L'analyse granulométrique est faite par la méthode de la pipette Robinson ; Le carbone par Walkley Black ; La conductivité électrique par la cellule de résistivité (Beckman) ; Le pH et Eh par pH mètre 191 WTW avec un électrode combiné pH - Eh ; L'azote par Kjeldahl ; P. assimilable par attaque à l'acide faible - méthode Truog ; Le P total par attaque à l'acide fort digestion avec $HClO_4$. CC (IRRI) ; Le K assimilable avec extraction HNO_3 (0.1N) suivie de la détermination par la flamme photométrique (K.M. Ramanathan et K.K. Krishnamoorth) ;

Les bases échangeables par extraction à NH_4 Ac suivie d'une détermination de Ca et Mg par titration et Na et K par flamme photométrique ; La CEC par extraction NH_4 Ac suivie de lessivage à l'alcool et déplacement par KCl ou NaCl suivie de distillation ; L'aluminium par la méthode 67 - 3.5.2. Agronomie n° 9 Am. Soc. of Agr. p. 994 ; Le fer soluble et échangeable par la méthode 65 - 2.2. de Jackson Agronomie, N° 9 Am. Soc. of Agr. p. 968.

.../

CHAPITRE III

RESULTATS ET DISCUSSIONS

A/ DIAGNOSTIC DES CONTRAINTES EDAPHIQUES

L'objectif recherché est d'interpréter les données chimiques obtenues afin d'élaborer un diagnostic correct. Pour atteindre un tel objectif, il faut considérer les analyses de sols comme un ensemble cohérent des résultats obtenus mais pas comme une accumulation d'éléments chiffrés isolés. Chaque donnée doit être liée aux autres pour être correctement interprétée.

Cette interprétation sera particulièrement conditionnée par la teneur en argile et en matière organique du système sol étudié. L'union de ces deux composantes forme le complexe argilo-humique considéré comme le pivot du sol. Les proportions et correlations entre les différents éléments chimiques, et ce complexe, vont toujours intervenir pour situer un sol, expliquer et orienter son comportement, juger de la valeur des techniques de fertilisation et les chances de succès des cultures qui y sont implantées. Aussi, une interprétation doit être dynamique et non figée, elle doit refléter les changements physico-chimiques potentiels. Ainsi pour approcher cette dynamique, l'observation des conditions hydriques du milieu est primordiale.

1. Les sols du plateau de Djibélor :

L'analyse des bulletins analytiques (Annexe 1.a) et les valeurs moyennes dans la parcelle (tableau 2) montrent que les sols du plateau de Djibélor sont sableux en surface (0-25cm). Leur pH est acide (4.5 à 5). Ce sont des sols ferrallitiques (oxysols) bien aérés, impliquant un fort lessivage des éléments minéraux. Leurs teneurs en M.O. et argile sont très faibles, de même que leur CEC (CEC = 2.64 meq/100 g). Leur taux de saturation est bas

.../

(41.47 %). Ceci montre que ces types de sols sont non seulement très sensibles à la sécheresse et au lessivage mais aussi se caractérisent par leur faible capacité comme réservoir nutritif d'où la faiblesse des teneurs en éléments chimiques.

Par souci de clarté dans la rédaction, les contraintes seront étudiées par élément chimique, néanmoins l'interprétation a été faite par rapport aux autres facteurs :

- *L'Azote (N)* : La teneur en azote dans ces sols est très faible ($N = 0.41 \%$), le rapport C/N est 9.5. Les observations sur le terrain révèlent que l'azote est une contrainte majeure sur ces sols. Cependant, toute fertilisation azotée sur le plateau doit tenir compte des possibilités de perte par lessivage rapide et aussi d'un increment d'azote utilisable par les micro-organismes du sol à cause du rapport C/N faible. Une fumure organique (ex : SESBANIA) est recommandée non seulement pour relever le niveau N mais aussi pour augmenter la capacité électro-chimique du complexe d'échange. Cependant, la grande mobilité de N dans ces sols exclut toute idée de réserve.

- *Le phosphore (P)* : Parmi les éléments nutritifs indispensables aux plantes, le P est un des plus marquants. Cet élément est présent dans le sol sous des formes diverses. Le sort de ses réserves et de celui apporté sous forme d'engrais dépendent de l'état du sol. Le bulletin analytique (tableau 2 et Annexe 1a) montre des teneurs en phosphore assimilable très faibles ($P_{ass} = 6.68 \text{ ppm}$). Les observations de terrain ont montré une carence en P dans la parcelle d'étude. Les fortes teneurs en oxyde de fer et le rapport (P_{tot}/P_{ass}) élevé laissent prévoir que ces sols ont un pouvoir fixateur de P très élevé. Les travaux de Krishnamoorthy et al., (1963) et Ponnampereuma (1975) confirment l'intérêt de la fixation

du P dans les oxisols. Nad et al. (1975) montrent que la teneur en oxyde de fer est un facteur dominant de la fixation de P par les sols. Donc il est possible d'avancer sans erreur que les sols ferralitiques du plateau de Djibélor ont un pouvoir fixateur de P très élevé et que les phosphates solubles dans l'eau sont vite fixés sous forme de sel de fer et d'alumine et deviennent pratiquement non assimilables par le riz, comme le confirme Jacob (1958), Ignatieff et Page (1959), Angladette (1959), Chang et Chu (1961), Mukerjee (1962), Fox et al. (1962), Monteith et Donald (1962) et Turner et David (1962). Cette grande capacité fixatrice de P de ces sols peut expliquer le peu d'effet observé d'engrais P. Pour lever cette contrainte sans un apport massif de P (phosphatage de fond), il est recommandé une application d'une fumure organique afin de retarder la fixation de P (Jacob, 1958 ; Gros, 1962) ou bien un relèvement du pH par apport d'engrais basiques. Une autre solution contre ce type de contrainte c'est un apport d'engrais P à action lente avec un complément en couverture de fumure P plus soluble.

Cependant, il est important de vérifier la potasse, le Mg, le Fe et le Zn afin d'éviter toute interaction négative.

- *Le Potassium (K)* : La teneur en K assimilable est faible (K.ASS = 3.77 ppm). Le processus de dégradation de l'argile est ultime donc très peu de réserve dans le sol. Néanmoins les observations sur la plante n'ont pas donné des symptômes sévères de carence potassique. Cependant, cette faible teneur peut être une contrainte comme signalé dans d'autres endroits : Kawaguchi et Kyuma (1969) et Thenabadu (1973) au Sri Lanka et en Inde par Goswami et al. (1976). Mais une application de K peut être dépressif sur les rendements par antagonismes avec d'autres éléments tel que Ca en terre décalcifiée et P.

L'apport de K sur ces terres filtrantes doit se faire avec précaution afin d'éviter les pertes par lessivage.

- Le calcium (Ca) et le Magnésium (Mg) : Le tableau 2 montre des teneurs en Ca et Mg très faibles (Ca = 0.45 meq/100 g ; Mg = 0.33 meq/100 g), le rapport Mg/Ca de l'ordre de 0.73 et la somme (Ca + Mg) faible dénotent d'une structure facilement destructible d'autant plus que la M.O. n'est pas bien représentée. Vue leur position en pente, un danger d'érosion y est réel. Il importe de noter également que le travail de ces sols doit être bien étudié. Un apport de M.O. pour stabiliser la structure est nécessaire. Cependant, les faibles teneurs en Ca, élément indispensable à l'activité microbienne, peuvent avoir des conséquences sur la décomposition de la M.O. apportée et sur la nutrition minérale par la rétrogradation des phosphates. Un autre élément de contrainte dont il faut tenir compte est le déséquilibre Mg-K qui peut exister.

- Les autres éléments : Le soufre peut être déficitaire dans ces sols de plateau comme l'ont montré Naik et Das (1964). Malheureusement cet élément n'a pas pu être analysé à cause des sous-équipements du laboratoire.

Aucune carence en fer n'a été observée sur la plante. Quelques cas de toxicité en Mn induite par antagonisme Mn-N a été observés mais aucune mesure de Mn n'a été effectuée (A.A. du laboratoire non encore fonctionnelle).

En résumé, les sols de plateau de Djibélor présentent une multitude de contraintes édaphiques tant physiques que chimiques. Ce sont des sols très pauvre en M.O. avec un pH acide, une texture légère et filtrante et une structure très peu stable susceptible d'être facilement érodable. Leur CEC est très faible donc de fait un réservoir nutritionnel de faible capacité.

Ils sont fortement carencés en N, P et K et ont une capacité de fixer le phosphore très élevée.

Ce qui les rend très peu apte à la riziculture sauf si des intrants organiques et chimiques sont apportés pour palier à ces contraintes.

2. Les sols de vallées intérieures et bordure de plateau - Djibélor (1)

2. a. sols de bordure de plateau - rizière "assistée de nappe" (Djibélor parcelle E₃ et E₅).

Ces sols sont situés à l'ancienne station de Djibélor. Ils sont des sols de transition du plateau aux sols submergés des bas-fonds. Ils sont avant les sols dits de riziculture "cycle court". Ils présentent un bilan hydrique, principalement assuré par les précipitations et les remontées de nappe. Ils sont partiellement inondés pendant la période d'hivernage. Sur le plan topographique ils viennent après les rizières pluviales strictes des plateaux.

Les observations morphologiques et les résultats d'analyse (tableau 2 et Annexe 1.b) montrent qu'ils sont de texture limono-sableuse de couleur gris-brun-noirâtre en surface (10YR 3/2). Leur maturation physique est bien avancée. Leur perméabilité est bonne mais la grande quantité de sable fin peut nuire par colmatage des macropores. Aucune présence de Jarosite ou de matériaux sulfidiques n'est noté à moins de 1.10 m de profondeur. Leur salinité est faible (C.E. 1/5 = 0.41 mmhos/cm). Leur pH est acide (pH_{1/2.5} = 4.78).

(1) Cette typologie est purement didactique et n'est employée que par souci de clarté. Il est entendu ici que les sols de bordure de plateau comprennent l'ensemble des unités taxonomiques où la nappe est peu profonde et/ou affleure pendant un temps relativement court : les sols de vallées intérieures couvrent les sols à l'intérieur des vallées creusées dans le C.T. où la nappe affleure pendant une durée plus ou moins longue (cycle court, cycle moyen et cycle long et profonde, suivant la longueur de la submersion). Nous utilisons cette typologie à défaut d'autre parce que cette terminologie est couramment employée à Djibélor.

La présence de concrétions ferrugineuses relève de leur condition d'hydromorphie. Ils sont assez bien pourvus en M.O. (M.O. = 3.63 %). Leur capacité d'échange cationique est de l'ordre de 10 meq/100 g avec un taux de saturation de l'ordre de 40 %. Ils sont classés comme des Typic Tropaquepts (U.S.D.A.).

L'analyse chimique (Annexe 1.b) montre une hétérogénéité physico-chimique des trois répétitions : la teneur en argile et limon, la fertilité (N, P, K), les basses échangeables et la CEC décroissent de R₁ à R₃ (d'Ouest en Est). Cette variabilité spatiale peut avoir des effets sur les rendements si la randomisation

au niveau des traitements ne l'atténue pas assez. Le diagnostic des contraintes a été fait en considérant la dynamique des éléments et leurs interactions, cependant, pour la clarté, la rédaction se fera par élément nutritif.

- L'azote (N). La teneur en N est médiocre (N = 1.56 %) (tableau 2). Le rapport C/N est élevé (C/N = 13.52) montrant une matière organique partiellement décomposée.

Les pertes d'azote peuvent être importantes sur ce type de sol dues à divers processus chimiques :

+ Peu de pertes par fixation des ions NH_4^+ par les sites spécifiques des argiles car, les conditions citées par Pasricha (1976) n'y sont ^{pas} réunies. Ces sols contiennent très peu d'argile de type 2 : 1 et aussi ont une hydrodynamique défavorable pour ce type de pertes.

+ Pendant la submersion peu de pertes par volatilisation sont possibles ceci est confirmé par les études de l'I.R.R.I. (IRRI 1967, 1974, 1975).

+ Les pertes les plus importantes sont dues aux phases d'humectation/dessiccation et sont caractérisées sur le terrain ^{par} un

.../

jaunissement des feuilles, symptômes de carence en N (description détaillée des symptômes tableau 1). Au rythme des précipitations et de la nappe, un flux et reflux de N caractéristique de l'immobilisation et de la dénitrification entraînent des pertes en N qui peuvent être appréciables. Donc un contrôle de ce phénomène va dans le sens des économies d'engrais N comme l'ont bien montré Patrick et Wyatt (1964), Sanchez et al. (1973) et Reddy et Patrick (1975). Aussi l'existence de zones contigues, aérobiques/anaérobiques dans ces sols, contribue à des pertes par dénitrification. Ces pertes sont maximales dans l'horizon de surface riche en M.O. Plusieurs auteurs confirment ce diagnostic (Van Roalte, 1941 ; Barber et al., 1962 ; Rolston et al., 1976 et Reddy et al., 1976).

- Le phosphore (P). Le diagnostic du sol pour cet élément nécessite une clairvoyance dans sa dynamique qui est fonction du régime hydrique variable dans le milieu poreux. Ces sols sont initialement moyennement pourvus en P totale ($P_{tot} = 1.04 \%$) mais pauvre en P assimilable ($P_{ass} = 11.99 \text{ ppm}$). La teneur importante en oxyde de fer et le déséquilibre $P_{tot} - P_{ass}$ dénotent une possibilité d'immobilisation ou de libération importante en P. Pendant les premières semaines d'humectation, ces sols ont besoin de P. Les observations de terrain le confirment par les symptômes de déficience en P enregistrés pendant cette période. Cette contrainte n'a pas été fatale pour le riz dans la mesure où une bonne reprise de la végétation a été observée par la suite. Cependant, si 1985 a été une année de bonne pluviométrie et que des carences exagérées en P sur ces sols n'ont pas été observées, il n'en demeure pas moins qu'en année de pluviométrie médiocre ou simplement avec une mauvaise distribution des précipitations, l'alternance humectation/dessiccation puisse entraîner une importante fixation de P et faire de cet élément le facteur le plus limitant de la production

de riz comme le confirment Mandal et Khan (1975), et, Singhania et Goswami (1977).

En 1985 les conditions de disponibilité en P liées à la submersion, comme affirmées par plusieurs auteurs, étaient réunies (David 1960 ; Mahapatra et Patrick, 1971 ; Islam et Islam, 1973).

Dans les années de pluviométrie moins régulière, sur ces sols riches en oxyde de fer donc à pouvoir fixateur élevé en P comme l'affirme Nad et al., 1975, soumis à des dessications, il est prévisible de rencontrer une carence en P qui en fonction de la variété et de son stade/ ^{de} développement peut entraîner des réductions substantielles de rendement.

De même il faut signaler que des antagonismes Fe - P peuvent entraîner au même résultat.

Compte tenu de ce diagnostic, des recommandations de fumure P peuvent être envisagées :

- un phosphatage de fond (la dose dépendra du pouvoir fixateur en P du sol)
- une fumure d'entretien avec des engrais - P solubles pendant les phases de rabattement de la nappe
- relèvement du pH
- présubmersion
- utilisation de variété à grand pouvoir de reprise en cas de carence temporaire en P.

Bien sûr, ces recommandations devront faire l'objet d'études aussi bien chimique qu'économique.

- Le potassium (K). Ces sols sont pauvres en K assimilable (Kass = 3.25 ppm) (tableau 2). Les carences en K sont potentielles bien que sur le plan physiologique Na peut se substituer valablement au K. La courte durée de submersion, les alternances

d'humectation/dessiccation en moins de 30 jours, le pH moins acide que les autres sols, la teneur assez faible en argile, concourent tous à d'hypothèse de la possibilité de déficience potassique. De même que la faible teneur en K peut entraîner un déséquilibre N-P-K. Néanmoins les observations en champ n'ont pu déceler des contraintes sévères en K.

La décision d'apport en K peut être bénéfique car elle pourrait, comme l'affirme Tanaka et al. (1968), réduire les cas de "bronzing", cependant, quand cet apport est massif il pourrait induire des carences en Mg par antagonisme comme l'a signalé Pasricha (1974). Donc cette décision ne peut être prise qu'après une expérimentation en milieu contrôlé.

- Le calcium (Ca) et le Magnésium (Mg). Le bulletin analytique (Annexe 1.b) et les moyennes (tableau 2) montrent des teneurs en Ca et Mg très faibles. Le rapport (Mg/Ca = 0.59) montre une possibilité de bonne stabilité structurale renforcée par la bonne teneur en M.O. (M.O. = 3.63 %). Néanmoins la faible teneur (Ca + Mg) suggère des amendements calci-magnésiques pour assurer une bonne stabilité d'autant plus que ces sols ont des teneurs en sable fin assez élevées pouvant entraîner des asphyxies. Cette recommandation doit cependant faire l'objet de test pour justifier l'hypothèse diagnostique et trancher sur les avis contraires de certains auteurs sur les effets d'un tel amendement (Ponnamperuma, 1960 ; Abichandani et Patnaik, 1961 ; Thenabader, 1969 et autres).

- Le sulfure (S). Pas de toxicité de S et autres produits dérivés sur ces sols.

- La silice (Si). Pas de carence observée sur la plante.

- Le fer (Fe). La toxicité ferreuse "bronzing" est observée sur ces sols quand ils sont submergés. Les alternances humectation/dessiccation créent un flux et reflux de fer dans la solution du sol.

L'observation la plus alarmante faite sur le terrain est qu'avec la bonne répartition des pluies en 1985, il y a eu une longue durée de submersion sur ces sols mais la toxicité ferreuse a été notée après plusieurs semaines (plus de 6 semaines) contrairement aux limites de deux semaines trouvées à l'IRRI (IRRI 1963, 1964 ; Ponnampereuma 1965 ; Ponnampereuma et al., 1966, 1967, 1969) et les limites de 4 semaines observés à l'ISRA (Bèye et al., 1974 ; Touré et Niane, 1980). Compte tenu de leur position topographique (pente) et la proximité des sols de plateau riche en fer, ces sols recevant par écoulement hypodermique les eaux provenant des sols ferrugineux adjacents peuvent subir un flux continu de fer allochtone expliquant ainsi le diagnostic avancé. Un phénomène similaire a été observé par Virmani (1976).

Dans pareil cas la solution du problème est d'ordre hydraulique pour maîtriser ces écoulements. Une solution rapide doit être trouvée d'autant plus que des teneurs en fer soluble et échangeable de l'ordre de 134 ppm dans ces sols pauvres en P et K ont été observées de même que leur grande sensibilité à la toxicité ferreuse (Van Breemen et Moorman, 1978).

- L'Aluminium (Al). Ces sols sont moyennement pourvus en Al échangeable (Al = 15 ppm). Bien que cette teneur puisse être toxique dans certains cas, très peu de symptômes ont été observés sur la plante. Quand la submersion s'installe les pH sont toujours supérieurs à 4.7 (limite théorique de la libération des Al). Donc potentiellement il n'y a pas danger d'occurrence de toxicité aluminique.

- Le Zinc (Zn). Aucune déficience en Zn n'est observée sur le plan physiologique. Mais l'antagonisme potentiel Fe - Zn pourrait entraîner une carence en Zinc comme l'ont montré Giordano et al. (1974), Deb et Zeliang (1975).

En résumé, ces sols de rizière "assistée de nappe" (appellation abusive) sont des sols de la classe des Tropaquepts présentant des intergrades allant des Typic au Sulfic (U.S.D.A.). Sur le plan diagnostic, ils sont très peu salés mais acides. Ils sont assez bien pourvus en M.O. mais de stabilité structurale moyennement bonne avec quelques risques d'entraînement des particules fines. Ils ont une teneur en argile médiocre à passable avec des potentialités de pertes par dénitrification assez importantes. Ils sont pauvres en P et K et présentent des potentialités de toxicité ferreuse et probablement une carence en Zn. L'aluminium n'y est pas encore une contrainte majeure tant que les pH seront supérieurs à 4.7.

Les solutions envisageables pour lever ces contraintes sont tant d'ordre hydraulique en dérivant ou en maîtrisant les eaux d'écoulement hypodermique lourdement chargées en fer que chimique avec une bonne fertilisation P et K, un enfouissement de N dans la zone réduite et des amendements calcimagnésiens afin de stabiliser la structure, de relever les pH.

Ces solutions devraient faire l'objet de tests en milieu contrôlé et ensuite chiffrées sur le plan économique pour évaluer leur rentabilité et leur faisabilité.

2.b. Les sols de vallées intérieures de Djibélor.

2.b.1) les sols de rizière de "cycle moyen" :

Les sols de rizière "cycle moyen" de l'ancienne station de Djibélor sont des sols de transition situés à proximité des sols de rizière "assistée de nappe". Leur régime hydrique est caractérisé par l'affleurement de la nappe pendant une période plus ou moins longue en année de pluviométrie normale. Sur le plan topographique, ils viennent après les sols de bordure de plateau dans le sens de la pente. La caractérisation morphologique et le bulletin analytique (Annexe 1.c, tableau 2) montrent que ce sont des sols limono-argileux de couleur gris-brun-noirâtre (10YR 3/2) en surface. Leur maturation physique est assez avancée.

Ils reposent le plus souvent sur un matériel sulfidique à des profondeurs de plus de 50 cm. Ils sont classés comme des sulfic Tropaquepts. Leur salinité est faible, leur pH acide (pH = 3.9). Ils présentent une perméabilité moyenne, une CEC assez bonne (CEC = 17 meq/100 g) mais un taux de saturation très faible (23 %).

La présence de concrétions ferrugineuses même dans l'horizon de surface atteste de leur condition d'hydromorphie.

Les contraintes nutritionnelles ont été étudiées globalement mais le souci de clarté impose la rédaction par élément qui suit.

- L'Azote (N). La teneur en N dans ces sols est bonne (N = 2.41 ‰), le rapport C/N est assez normale (C/N = 12.4) (tableau 2). Bien qu'étant bien pourvu en azote en début de cycle, les phases d'humectation/dessiccation ont entraîné des pertes substantielles de N dues à diverses transformations chimiques :

+ les pertes par fixation des ions NH_4^+ sont relativement faibles dans ces sols moyennement humides à submergés comme le confirment les études de Nommik (1965) et Pasricha (1976).

+ La submersion presque rapide a empêché toutes pertes par volatilisation comme confirmé à l'IRRI (IRRI, 1967 ; 1974 ; 1975).

+ Les pertes dues à une immobilisation ou dénitrification sont d'une importance capitale pour toute étude de fertilisation azotée dans les conditions hydriques de cette sous-région. Pendant l'année 1985, où la pluviométrie a été très bien répartie dans le temps, la minéralisation de l'azote est dominante donc moins de pertes d'autant plus que ces sols ont une bonne capacité de rétention de l'eau et la submersion y a duré assez longtemps cette saison. Ce diagnostic est confirmé par les études de Hiron et Kumada (1963) pour des rétentions d'eau de 50 à 90 % et par d'autres auteurs pendant la submersion (Patrick et Wyatt, 1964 ;

Waring et Bremner, 1964 ; Borthakur et Mazumder, 1968).

Cependant, en année de pluviométrie déficitaire ou d'irrégularité des précipitations pouvant entraîner une dessiccation prolongée des sols, on peut faire valablement le pronostic d'importantes pertes d'azote par dénitrification masquant la stimulation probable de la minéralisation observée dans des cas similaires par Birch (1958), Patnaik et Wyatt (1964) et IRRI (1970).

Dans tous les cas, les observations de terrain ont montré un début de perte de N en début de saison caractérisé dans la parcelle d'essai par des symptômes de carence en N pendant les premières semaines de la saison des pluies. Néanmoins il y a eu une très bonne reprise de la végétation. Les mêmes observations ont été faites par les chercheurs de l'IRRI (IRRI, 1966). Le dommage produit par cette contrainte pourrait se refléter sur les rendements en Paddy dans la partie agronomique de ce mémoire.

Cependant, quelque soit leur impact sur les rendements de 1985, il est important d'attirer l'attention que sur ces types de sols les conditions essentielles pour la dénitrification sont présentes (M.O. facilement décomposable, présence de forme oxydée d'azote) pendant une période plus ou moins courte suivant les hivers. L'ampleur de ces types de perte de N peut être importante comme l'ont signalé De et Diggar (1954), Merzari et Broeshart (1967), Broadbent et Tusneem (1971). Cependant, la quantification de ces pertes est très peu connue (Mc Garity et Rajaratnam, 1973 ; Rolston et al., 1976).

Le grand intérêt porté à ce phénomène (Patnaik et Broadbent, 1967 ; Racho et De Datta, 1968 ; Shinde et Chakravorty, 1975 ; Patrick et Reddy, 1976) a incité certains auteurs à établir des corrélations entre ces pertes et la teneur en M.O. (Mc Garity et Meyers, 1968 ; Stefanson, 1972 ; Garcia, 1973 et Stanford et al., 1975).

Certaines recommandations allant dans le sens d'économie d'engrais N pour ce type de riziculture peuvent être faites :

- un enfouissement de l'azote en profondeur dans la zone réduite au moment où la plante de riz a une activité racinaire accrue (IRRI, 1974)
- une exclusion de l'oxygène des sols de rizières (Broadbent et Tusneem, 1971 ; Patrick et Gotoh, 1974)
- l'utilisation d'engrais N à faible libération (Sanchez et al., 1973 ; Wells et Shockley, 1975 ; Touré et Kouma, 1980)
- éviter de fortes applications d'urée (IRRI, 1967)
- sur ces sols acides, l'hydrolyse de l'urée pouvant être très lente, des pertes par lessivage peuvent être observées, donc il est mieux d'apporter l'urée en faibles fractions
- éviter d'apporter trop de M.O. en même tant que l'urée (IRRI, 1970).

Cependant, il n'y a pas de solutions simples pour minimiser ces pertes. Seule une étude parallèle en milieu contrôlé avec une simulation des conditions hydriques et des doses différentes de M.O. pour voir leurs effets sur l'ampleur de la dénitrification, des pertes possibles par lessivage, peut aider à réaliser un bilan azoté correct et faire un choix de technique de fertilisation azotée.

- Le Phosphore (P). Adoptant la même démarche scientifique qu'ultérieurement, le diagnostic de ces sols pour le P se fera en tenant compte de sa dynamique.

Initialement ces sols de transition présentent des teneurs en P total et assimilable faibles ($P_{tot} = 1 \%$; $P_{ass} = 1.37 \text{ ppm}$) et leur rapport P_{tot}/P_{ass} est exorbitant. En plus leur teneur en

oxyde de fer élevé indique un pouvoir fixateur important. Ceci se traduit sur le terrain par une déficience en P au moins pendant les premières semaines de la saison des pluies. Ponnamperuma (1975) a observé la même chose sur sulfaquepts aux Philippines. D'autres auteurs également ont confirmé la carence provisoire ou non en P dans la zone fluvio-marine de manière générale (Kawaguchi et Kyuma, 1969 ; Cholitkul et Tyner, 1971 ; PCARR, 1976).

Dans cette étude, le suivi de terrain a quand même montré une reprise de la végétation due probablement à la solubilisation de phosphate de Al et Fe lors de la submersion prolongée comme l'ont confirmé Chang et Jackson (1957) dans leur étude de cas similaire.

Des expérimentations sur la cinétique des transformations de Al - P et Fe - P confirment le diagnostic (Chiang, 1963 ; IRRI, 1964 ; Chang, 1965 ; Cholitkul et Tyner, 1971).

Compte tenu des acquis et connaissances sur la cinétique des transformations des formes de P, il est important de dégager le moment opportun d'épandre les engrais P sur ces types de sol. Car une conversion d'engrais P soluble en des formes moins solubles entraîne une immobilisation temporaire pouvant faire apparaître des symptômes de carence en P. Cet aspect a été étudié par plusieurs auteurs (Chang et Chu, 1961 ; Mahapatra et Patrick, 1969 ; Srivastava et Pathak, 1972 ; Singhanian et Goswami, 1977). Ce qui peut justifier la carence en P constatée sur ces sols en début de saison même quand P est apporté. Cependant, certains auteurs ont signalé que cette conversion était lente et est influencée par le système racinaire et la teneur en oxyde de fer (Yuan et al., 1960 ; Chiang, 1963 ; Hsu, 1964 ; Singhanian et Samaniego, 1973).

.../

Le suivi de terrain dans cette étude a permis de voir l'importance de l'hydrodynamique sur les immobilisations et la solubilisation de P. En début de saison des pluies (1985) des symptômes de carence en P étaient observés dans la parcelle d'essai mais avec la submersion qui s'est installée une reprise progressive de la végétation laisse supposer une libération de P. Ces observations et hypothèses sont confirmées par les études de Patrick et Mikkelsen (1971) et Mandal et Khan (1975).

Il est prévisible qu'en année déficitaire ou de mauvaise répartition de la pluviométrie avec des phases d'humectation/dessiccation du sol, une forte immobilisation de P peut entraîner une sévère carence en P. Cette prévision est d'autant plus valable qu'elle est confirmée par les études de Ericksson (1952), David (1960), Savant et Ellis (1964), Ponnampereuma (1965), Broeshart et al. (1965) et enfin Islam et Islam (1973).

Donc le diagnostic dynamique indique que dans ces sols acides, le phosphore se trouve en début de saison sous des formes non encore assimilables comme la variscite ($AlPO_4 \cdot 2H_2O$) suivie de la strengite ($FePO_4 \cdot 2H_2O$) qui sont stables en milieu acides. Compte tenu du pouvoir fixateur en P de ces sols, les petits apports de P en début de saison sont immobilisés. Quand la submersion s'installe, le pH du sol augmente et une solubilisation de ces formes de P s'effectue libérant du phosphore facilement assimilable par le riz. Enfin d'hivernage l'inverse se produit.

Ainsi toute méthode d'apport en P sur ces sols doit nécessairement se faire dans la compréhension de la dynamique de P. C'est pourquoi il est nécessaire dans certains cas de relever le pH du sol avant un apport en P afin de réduire les possibilités d'immobilisation.

- Le potassium (K). Les données analytiques, du tableau 2 détaillées en Annexe 1.c, montrent une très faible teneur en K assimilable (Kass = 3.18 ppm). Le suivi en champ n'a cependant pas montré de symptômes sévères de carence potassique. Néanmoins il semblerait que les symptômes plus visibles de carence en P en début de saison masquent les observations physiologiques de déficience en K. Il est important de noter la présence de maladies cryptogamiques sur les feuilles dues à Helminthosporium oryzae caractéristique des sols pauvres en N,P,K. L'autre hypothèse serait une substitution de K par Na dans son rôle physiologique qui masquerait ainsi les symptômes de carence. Seule l'étude en serre peut éclaircir dans de tels cas d'autant plus que dans beaucoup de zones humides comme au Sri Lanka, 75 % des terres ont comme facteur limitant le potassium (Kawaguchi et Kyuma, 1969). L'autre hypothèse de la non apparition des symptômes de carence en K pourrait être l'effet de la submersion qui aurait permis la libération de K comme l'ont signalé Ponnamparuma (1965) et Islam et Islam (1973). Il serait même probable que les effets dépressifs de K observés par Touré (1976) soient dus au déséquilibre créé par l'excès de K pendant la submersion.

- Le Calcium (Ca) et le Magnésium (Mg). Le bulletin analytique (Annexe 1.c) et les moyennes (tableau 2) montrent une plus grande stabilité mais du fait de la faible valeur (Ca + Mg), le sol présente néanmoins une grande susceptibilité à perdre ses particules fines et cela d'autant plus qu'il est situé en pente malgré la bonne teneur en matière organique.

Il est recommandé l'utilisation d'amendements calci-magnésiens qui rendrait le sol stable, releverait les pH, diminuerait les immobilisations augmenterait l'activité microbienne, la décomposition de la M.O. et l'oxydation des produits réduits au voisinage

des racines. Toutefois la prudence impose un essai suivi afin de cerner l'effet de ces amendements sur les rendements en paddy car les avis de certains auteurs diffèrent en fonction des conditions d'étude (Ponnamperuma, 1960 ; Abichandani et Patnaik, 1961 ; Thenabader, 1969 ; Bhumbla et al., 1971 ; Dyanand et al., 1976 ; Rahmatullah et al., 1976).

- Les sulfures (S) .La possibilité de toxicité en H_2S est probable. Les observations de terrain montrent à certains endroits de l'aire d'étude un dégagement d'odeur caractéristique du H_2S et la présence de précipités noirâtres qui semblent être des formes amorphes de FeS ou de Mackinawite ou même pyritique. Les racines de riz en sont aussi couvertes.

- La Silice (Si). Aucune carence n'est observable sur la plante de riz.

-Le Fer (Fe)⁽¹⁾. La toxicité ferreuse ou "bronzing" a été observée. Son ampleur est alarmante, des parcelles entières ont été abandonnées à Djibélor et Affignam. C'est un phénomène bien connu sur ces sols (Tanaka et Yoshida 1970 ; IRRI, 1975 ; Virmani, 1976). Les données de laboratoire (Annexe 1.c et tableau 2) montrent des concentrations assez élevées de fer soluble et échangeable ($Fe = 118$ ppm). Cependant, la teneur minimale à laquelle les symptômes de toxicité apparaissent pour une variété donnée dépend de plusieurs facteurs et demeure non totalement cernée. Mais les observations de terrain sont confirmées par les données de la littérature.

Pour des sols pauvres en éléments nutritifs P et K ou riches en inhibiteurs de la respiration (H_2), Van Breemen et Moormann (1978)

(1) Le suivi Eh - pH combiné à l'extraction de la solution du sol avec estimation des concentrations de Fe^{++} n'a pu être réalisé dus aux pannes du circuit électrique de l'électrode de mesure.

ont montré que des concentrations en fer soluble et échangeable⁽¹⁾ aussi faibles que 30 ppm peuvent être toxiques. Ponnampuruma le confirme pour des valeurs de 30 à 80 ppm. Ces données sont très inférieures aux valeurs trouvées dans les sols étudiés.

Les analyses au niveau de la plante n'ont pas été faites pour plusieurs raisons :

- variabilité trop importante des teneurs critiques en Fe dans la plante recensées dans la littérature (110 - 1500 ppm) (IRRI, 1965 ; Inada, 1965 ; Jayawardena et al., 1977).
- trop d'échantillons pour peu de moyen logistique.
- partie de l'étude, qui devrait préciser les valeurs critiques (étude en serre), supprimée pour des raisons logistiques.

Néanmoins les résultats d'étude antérieures guideront le diagnostic dans l'élaboration de solutions adéquates.

Les études réalisées à Djibélor ont débouché sur des recommandations pratiques contre la toxicité ferreuse du riz (Bèye et al., 1973 (b) ; Bèye et al., 1974 ; Touré, 1976 ; Bèye, 1977 (a) ; Touré et al., 1980). Ces études confirment en grande partie les observations de Ponnampuruma (1965, 1966, 1967, 1969).

Dans le cas des sols étudiés ici, le diagnostic devient plus complexe avec l'accumulation de H₂S qui peut aggraver la toxicité ferreuse comme l'indiquent Mitsui (1955) et Tanaka et al. (1968).

Pour compléter le diagnostic il faut tenir compte également des interactions négatives entre le fer et les autres éléments. Les observations faites sur la végétation donnent des indications sur l'antagonisme Fe - Mn confirmé par les études de Mc Hargue (1945),

(1) Nous avons choisi la méthode 65.22 - Am. Soc. of Agro. N° 9 Part 2. parce qu'elle est appropriée pour une étude diagnostique et est mieux corrélée aux symptômes de toxicité ferreuse.

Karim et Molisin (1964), Alam et Khan (1966). L'antagonisme le plus marquant est Fe - P. La toxicité ferreuse est observée simultanément avec la carence en P. L'interaction Zn - Fe n'a pu être observée pendant le suivi en champ mais il demeure possible surtout pendant la phase initiale de submersion.

- Aluminium (Al). La teneur en Al bien que moyennement élevée (Al = 33 ppm) très peu de symptômes sont visibles sur la plante. Il semble pourtant probable vu les pH bas d'avoir une succession de facteurs limitants suivant la dynamique Al - Fe - P correlés à leur séquence de mobilité qui est fonction des potentiels redox des pH donc des conditions hydrodynamiques.

- Le Zinc (Zn). Aucune déficience en Zn n'est décelable sur le plan physiologique. Néanmoins les potentialités de carence en Zn par antagonisme avec le Fe existent dans ces sols comme le confirment les auteurs suivants : Giordano et al. (1974), Deb et Zeliang (1975), Rachid et al. (1976). Les quelques tests d'apport de poudre de batteries riche en oxyde de Zn n'ont donné de résultats explicites.

En résumé, ces sols de transition, situés après les sols où l'alimentation hydrique est principalement assurée par les précipitations et la nappe phréatique, appelés abusivement "sols de rizière de cycle moyen" et classés Sulfic Tropaquepts ou Typic Tropaquepts en fonction de l'influence d'une couche de pyriteuse (U.S.D.A.), sont des sols/teneurs passables en azote et faible en P et K. Leur diagnostic est lié à la dynamique des conditions hydriques du sol. En fonction de l'humectation/dessication il y a des pertes d'azote, des immobilisations de P des toxicités en fer et/ou aluminium. Les ions divalents y sont très faiblement représentés dénotant une structure peu stable malgré leur bonne teneur en M.O.. Des études faites à Djibélor ont commencé à éclaircir un certain nombre d'inconnus, cependant, des solutions définitives de fertilisation viable et peu coûteuses restent à préciser.

2.b.2) Les sols de rizières "cycle long - submersion profonde"

Ce sont des sols situés à l'ancienne station de Djibélor dans la partie basse de la transition vers les sulfaquents soumise aux rythmes de la marée. Ils sont bien inondés par les eaux de ruissellement venant des terres hautes. En bonne saison ils restent submergés pendant 4 à 5 mois.

Les observations morphologiques et les résultats d'analyse (tableau 2 et Annexe 1.d) montrent une texture limoneuse, de couleur grise très noirâtre (10YR/3/1) en surface. La maturation physique est bien avancée et la perméabilité moyenne. Ils sont moyennement salés (C.E._{1/5} = 0.43 mmhos/cm) à salés par endroits en début de saison. Leur pH est acide (pH = 3.46). Ils sont riches en M.O. (M.O. = 5.94 %), avec une CEC moyenne (CEC = 13.43 meq/100 g) mais faiblement saturée (taux de saturation = 23 %). La présence de matériaux sulfidiques (pH ≤ 3.5 ou jarosite) à plus ou moins 50 cm de la surface en fait des intergrades vers les Tropaquepts et peuvent être classés comme des sulfic Tropaquepts ou une association (Sulfic Tropaquepts - Sulfaquepts) (U.S.D.A.). Les observations indiquent la présence de précipité amorphe de monosulfate de fer autour des racines et en surface par endroit.

Au niveau de la parcelle d'étude il n'y a pas trop de variabilité spatiale des paramètres étudiés.

L'analyse des contraintes se fera suivant la même approche que précédemment.

- L'azote (N). Ces sols ont d'assez bonnes teneurs en azote (N = 2.50 %) en début de saison humide. Le rapport (C/N = 13.84) est assez grand. Les observations de terrains ne révèlent pas de carence

(1) Sur la carte de situation de la station de Djibélor (1971) ces parcelles n'ont reçu aucune dénomination. Nous préconisons de réactualiser la carte avec une caractérisation pédologique complète suivie de commentaire sur les contraintes édaphiques existant. Ceci fera l'objet d'un document de travail interne.

en N bien qu'il soit probable d'avoir des pertes en début de saison. Quand la submersion s'installe les pertes sont négligeables (sauf peut être par percolation) comme le confirment plusieurs auteurs (IRRI, 1966, 1967, 1974, 1975). Les pertes engendrées par l'alternance humectation/dessiccation n'existent pratiquement pas sur ces types de rizières sauf probablement en fin de cycle avec le dessèchement des sols.

- Le Phosphore (P). Ces sols sont carencés en P ($P_{tot} = 1.33 \%$) ; $P_{ass} = 2.08$ ppm). Le rapport P_{tot}/P_{ass} et la teneur en oxyde de fer sont très importants indiquant un grand pouvoir fixateur de P. Ceci se traduit au champ par une déficience en P comme l'une des contraintes édaphiques les plus limitatives de la production en paddy. Mais cette contrainte ne se fait ressentir que pendant les premières semaines de submersion. La submersion continue et la remontée des pH font accroître la concentration en P très rapidement en quelques semaines mais elle décroît après à des valeurs très faibles. Chang (1963) confirme cette hypothèse en se basant sur des observations physiologiques. Ces observations cependant n'indiquent la carence en P qu'en début de cycle et probablement les symptômes de fin de cycle sont masqués par les phénomènes de toxicité recencés.

- Le Potassium (K). Les teneurs en K assimilable sont faibles ($K_{ass} = 4.70$ ppm). Néanmoins aucun symptôme de carence en K n'est observé au champ. Comme l'ont indiqué Ponnamperuma (1965), Islam et Islam (1973), il est rare d'observer une carence potassique dans ces types de sols de rizières submergées.

- Le Calcium (Ca) et le Magnésium (Mg). Les résultats analytiques (Annexe 1.e et tableau 2) montrent des teneurs faibles en Ca et Mg ($Ca = 1.50$ meq/ 100 g ; $Mg = 0.63$ meq/100 g). Bien que le rapport Mg/Ca indique une certaine stabilité, la somme (Ca + Mg) faible et la présence relativement importante d'ions monovalent (Na) en

condition de sol saturé en eau, dénotent une instabilité structurale. En plus de cette contrainte physique, le pH trop bas, le rapport C/N trop élevé et les potentialités de toxicités liées au pH acide concourent tous à une recommandation d'amendement Calco-magnésien afin non seulement de lever la contrainte de stabilité structurale mais d'activer la vie microbienne et de diminuer la production d'ions toxiques.

- Les sulfures (S). Une forte potentialité de toxicité des produits dérivés du S comme le H₂S est présente. Les observations de terrain ont montré l'existence de précipité de FeS et des dégagements de H₂S durant la période où la lame d'eau est faible dans la parcelle. Cette potentialité est liée au sous-sol pyriteux. Néanmoins avec la submersion continue ces phénomènes disparaissent.

- La Silice (Si). Aucune carence n'est observée sur la végétation

- Le Fer (Fe). Comme dans les sols de rizière de "cycle moyen", le phénomène de toxicité ferreuse est étroitement lié à la dynamique des submersions. Les analyses de sols montrent des concentrations moyennes en fer soluble et échangeable (Fe = 120 ppm). Des symptômes de "bronzing" sont observés sur le terrain et sont aggravés par la pauvreté de ces sols en P et riches en toxines (H₂S). Dans de pareilles conditions des concentrations même de 30 ppm peuvent entraîner des déséquilibres physiologiques graves. Le suivi de la plante pendant son cycle montre conformément à d'autres études que la contrainte fer était limitative pendant les trois premières semaines qui suivent la submersion. Cette contrainte était couplée avec la déficience en P et potentiellement peut entraîner une déficience en Zn par antagonisme.

- L'Aluminium (Al). Les potentialités de toxicité existent mais ne peuvent être que de courte durée juste avant l'installation de

la submersion. Les analyses de sols montrent des teneurs en Al échangeable de 29 ppm. Cette contrainte temporaire peut être éliminée par simple présubmersion afin de relever les pH à 4.7.

- Le Zinc (Zn). Bien que les observations n'ont pas montré de carence en Zn il existe des potentialités de déficience induite par antagonisme avec Fe.

En résumé, ces sols de transition situés dans la partie basse vers les sulfaquents sont des sols de bas fond reposant sur du matériau pyriteux à plus ou moins 50 cm. Ils sont généralement des Sulfic Tropaquepts riches en M.O. et azote, avec très peu de pertes en N sauf par percolation.

La contrainte P y est effective en début de submersion mais s'atténue tardivement de même que pour le fer dont la toxicité est aggravée par la présence de H₂S. Les potentialités de toxicité aluminique sont éphémères mais celles de carence en Zn par antagonisme Zn - Fe demeurent. Le potassium bien que faiblement représenté ne fait pas l'objet de contraintes.

Pour rendre ces sols productifs des amendements Calci-magnésiques sont nécessaires pour corriger les déficiences de stabilité structurale, les pH trop bas, les immobilisations de P, la toxicité ferreuse et ses corollaires. En plus de ces amendements à cause du P_{tot} faible un apport de P est souhaitable.

3. Les sols de vallées intérieures et de bordure de plateau -

Katouré :

Le site de Katouré situé à une quarantaine de km/vers Oussouye ^{de Ziguinchor} a été choisi en plus des essais en station à Djibélor pour quatre raisons :

1°. Katouré est un site barré et l'effet de l'ouvrage sur l'hydrodynamique des sols est manifeste.

2°. Les sols de Katouré sont argileux à limoneux en surface, reposant sur du sable grossier donc un comportement hydrique différent par rapport aux sols de même typologie rizicole que Djibélor.

3°. C'est à Katouré que l'autre essai pluridisciplinaire (N,P,K variables) a été implanté pour mieux varier l'analyse agronomique.

4°. Enfin sa proximité de Djibélor permet un suivi régulier.

3.a. Les sols de riziculture "assistée de Nappe" :

Ces sols de rizière "assistée de nappe" de Katouré sont des sols de transition qui suivent les sols de riziculture pluviale stricte suivant la pente, vers le lit. Leur régime hydrique est caractérisé par une nappe phréatique peu profonde et même affleurante pendant une période plus ou moins courte en année de pluviométrie normale.

Les observations morphopédologiques et les données d'analyse (Annexe 5, tableau 2) montrent que se sont des sols argileux de couleur très noir - grisâtre (10YR 3/1) en surface avec la présence de concrétions ferrugineuses. L'horizon de surface repose sur du sable grossier avec une couleur de gley. En profondeur des traces de jarosite sont visibles. En condition de dessiccation, des fentes de retrait se matérialisent en surface et le sol est extrêmement dur avec une structure massive. En condition d'humectation, la surface est boueuse et collante. Ce qui indique une présence relativement importante de sodium dans le complexe d'échange.

Cependant, leur salinité est faible ($CE_{1/5} = 0.06$ mmhos/cm) et leur pH est acide (pH = 4.50). Leur perméabilité est grande en début de saison avec les fentes de retrait mais baisse rapidement quand la surface commence à se saturer. Autre phénomène intéressant sur l'aspect hydrique de ces sols est que l'horizon de surface doit être complètement saturé en eau avant que l'horizon sableux ne s'humecte. Une fois que celle-ci commence à s'humidifier il y a comme un effet de chasse-d'eau qui s'installe et une désaturation de la couche de surface peut se faire en quelques jours. Ce comporte-

ment hydrodynamique est dû à la différence de tension capillaire entre les deux couches (Argile/sable).

Ces sols ont une CEC assez bonne de l'ordre de 20 meq/100 g mais un taux de saturation faible (15 %) avec une teneur en M.O. bonne (M.O. = 3.28 %).

Leur maturation en surface est bonne, mais avec la présence de matériaux sulfidiques en profondeur, ils sont classés comme des sulfic Tropaquepts (U.S.D.A.). La variabilité spaciale des données analytiques sur la parcelle est faible. Le diagnostic qui suit, en prenant /par élément, n'est qu'une démarche pédagogique par souci de clarté mais de faite les données sont interprêtées simultanément et leur dynamique dans le temps est prise en compte afin d'évaluer les contraintes potentielles.

- L'azote (N). La teneur en N est passable (N = 1.37 ‰), le rapport C/N est assez élevé (C/N = 13.56) dénotant une décomposition de la M.O. probablement en cours.

La grande variabilité de leur condition hydrique et la rapidité des changements hydrodynamiques font que ces sols peuvent subir d'importantes pertes d'azote :

+ très peu de pertes par fixation de NH_4^+ par les argiles comme indiqué par Nommik (1965) et Pasricha (1976) sont probables.

+ Les pertes par dénitrification sont importantes compte tenu des variations d'humectation/dessiccation comme signalé par plusieurs auteurs cités plus haut et aussi l'effet de la teneur en M.O. sur ces pertes.

Ces pertes se matérialisent sur le terrain par un jaunissement des feuilles dans toute la parcelle.

Les recommandations pour éviter de telles pertes sont listées antérieurement.

Cependant, quand la submersion s'est bien installée les pertes sont atténuées et la plante souffre moins par la suite.

- Le Phosphore (P). Les teneurs en phosphore total et assimilable sont faibles ($P_{tot} = 0.61 \%$; $P_{ass} = 1.54 \text{ ppm}$). Compte tenu de l'importance des oxydes de fer dans ces sols, le pouvoir fixateur en P doit y être assez élevé. Néanmoins suivant les conditions hydrodynamiques le P est soit libéré soit fixé. En conformité avec les observations de Ponnampertuma (1975) la carence en P sur ces types de sols a été plus marquant pendant les premières semaines de la saison des pluies; avec l'installation de la submersion, une bonne reprise de la végétation a été observée. Cependant ces sols, susceptibles à de rapides phases de dessiccation sont potentiellement carencés en P. Pendant ses phases de rapides conversions des engrais - P en formes non assimilable la fixation de P s'installe créant ainsi un affaiblissement de la plante de riz avant les "stress" hydriques. Contrairement à l'hypothèse de la conversion lente signalée par certains auteurs (Yuan et al., 1960 ; Chiang, 1963 ; Hsu, 1964 ; Singhanian et Samiengo, 1973), dans ce type de sol riche en oxyde de fer, assez lourd avec un profil racinaire réduit, il nous a semblé que le riz pouvait très rapidement souffrir de carence en P. Donc il est nécessaire pour ce type de sol d'améliorer les conditions d'aération de la surface (par des amendements et un travail du sol approprié) pour ainsi éviter les passages rapides de l'humectation à la dessiccation.

- Le Potassium (K). Ces sols contiennent de très faibles teneurs en K assimilable ($K_{ass} = 2.80 \text{ ppm}$) (tableau 2, Annexe 5). Cependant, aucune observation de symptôme de déficience en K n'est observé.

Mais des maladies cryptogamiques caractéristiques de la pauvreté des sols en éléments majeurs s'y sont développées en début de végétation. Il serait probable qu'il y ait libération de K ou tout simplement une substitution de K par Na.

- Le Calcium (Ca) et le Magnésium (Mg). Les données d'analyses (Annexe 5 et tableau 2) montrent des teneurs faibles en Ca et Mg avec un rapport Mg/Ca très élevé (1.52) dénotant une structure instable. La forte proportion de Na dans les bases accentue l'instabilité de cette structure. Cependant, il y a très peu de pente pour un entrainement des particules fines latéralement. Néanmoins il est possible de constater une rapide diminution des macropores par l'entrainement en profondeur des particules fines avec possibilité d'asphyxie. Cette possibilité de dégradation de la structure entraîne des conséquences hydrodynamiques qui elles mêmes influent sur les transformations physico-chimiques. Par conséquent il est impératif de stabiliser la structure avec du Gypse ou phosphogypse avant toute intensification de la riziculture.

- Les sulfures(S). Très peu de potentialité de toxicité en élément riche en S n'est observée. Le matériau sulfidique est en profondeur et dans un milieu très filtrant, les produits toxiques sont entraînés plus bas d'année en année ou latéralement. Aucune observation de remontée de toxines dans la couche arable n'est notée.

- La Silice (Si). Pas de symptômes de carence sur la plante.

- Le fer (Fe). Des symptômes de "bronzing" observés très tôt dans la saison ont été vite atténués. Sauf quelques ilots de plantes de riz ont montré une sévérité du problème. Après plusieurs phases d'humectation/dessiccation avant l'installation de la submersion, la toxicité ferreuse a été complètement atténuée dans toute la

parcelle. Cependant, les teneurs en fer soluble et échangeable en début d'hivernage sont assez appréciable (Fe = 70 ppm). Donc vu les conditions hydriques non contrôlées la potentialité de toxicité ferreuse demeure bien que le pH moyen est à 4.50 le Eh peut descendre très bas (richesse en M.O. ; mauvaise aération).

- L'Aluminium (Al). Il n'a pas été observé des symptômes de toxicité aluminique sur le riz dans la parcelle. Ceci est notamment dû au fait que les pH sont assez élevés (pH labo - 4.50 ; pH terrain 5) pour occasionner la libération des ions Al.

- Le Zinc (Zn). Il n'y a pas eu de symptômes de carence visibles sur les plantes bien que l'antagonisme Zn - Fe peut potentiellement faire du Zn une contrainte.

En résumé, ces sols de riziculture assistée de nappe de Katouré, classés Sulfic Tropaquepts présentent un régime hydrique avec des phases rapides d'humectation/dessiccation. Leur texture est très argileuse mais avec une structure très peu stable. Ce sont des sols acides avec des teneurs passables en N_a pauvre en P, avec beaucoup de M.O. en décomposition. Les potentialités de perte en N par dénitrification sont grandes surtout pendant la phase active humectation/dessiccation. Les carences en P sont observées en début de saison de même que la toxicité ferreuse, elles s'atténuent par/ . La faible teneur des divalents Ca et Mg et le rapport élevé Mg/Ca fait que ces sols nécessitent des amendements calciques tels que le Gypse pour une meilleur structure, un relèvement du pH, une lutte contre les excès de fer libre et une meilleure aération donc un meilleur développement racinaire afin de contrer la sensibilité de ces sols à la sécheresse.

3.b. Les sols de riziculture "cycle court" :

Les sols de riziculture "cycle court" de Katouré sont situés vers le lit et ont été très salés avant le barrage. L'effet de l'ouvrage a été très bénéfique en lessivant fortement ces sels.

Ils sont submergés pendant une bonne période en saison humide.

Les observations morphologiques et les données analytiques (Annexe 1.f, tableau 2) montrent que ce sont des sols argileux de couleur noirâtre en surface avec présence de concrétions ferrugineuses. En profondeur le sous-sol est riche en jarosite. Ils sont acides et légèrement salés ($\text{pH} = 4.8$; $\text{CE}_{1/5} = 0.16$ mmhos/cm), très riches en M.O. (M.O. = 4.20 %) ^{bien} en décomposition. Leur perméabilité est moyenne mais baisse au fur et à mesure que les fentes de retrait se referment avec l'humectation.

Ces sols ont une C.E.C assez élevée ($\text{CEC} = 28$ meq/100 g) mais un taux de saturation très bas (taux de saturation 22 %). Ils présentent une assez bonne maturation physique en surface avec la présence d'un horizon riche en jarosite à quelque 60 à 70 cm. Ils sont classés comme Sulfic Tropaquepts (U.S.D.A.). La variabilité spatiale des paramètres chimiques et physiques dans la parcelle d'essai est très faible.

Les contraintes édaphiques sont interprétées comme suit :

- L'Azote (N). L'annexe 1. f et le tableau 2 montrent de bonnes teneurs en azote ($\text{N} = 2.65$ %), le rapport C/N est moyennement bas ($\text{C/N} = 9.21$) indiquant une assez bonne décomposition de la M.O.. Avec l'effet de l'ouvrage anti-sel et l'accumulation d'eau, les conditions hydriques favorables s'installent très rapidement avec très peu de perte d'azote sauf probablement par percolation.

Les observations de terrains n'ont montré aucun symptôme de carence en N.

- Le Phosphore (P). Les teneurs en P sont faibles. De même avec les teneurs élevées en oxyde de fer ces sols doivent présenter un pouvoir fixateur en P élevé. Les observations faites sur la plante montrent une période de carence en P en début de saison souvent

accompagnée de phénomène de toxicité. D'autres auteurs ont pu observer la même chose.

Donc il est parfaitement possible de contourner cette contrainte par présubmersion d'autant plus que l'ouvrage peut sécuriser les besoins en eau pour la saison.

- Le Potassium (K). Les analyses de laboratoire (Annexe 1.f, tableau 2) montrent de faibles teneurs en K assimilable ($K_{ass} = 2.85$ ppm). Néanmoins les observations sur la plante n'ont pu montrer des symptômes de carence.

- Le Calcium (Ca) et le Magnésium (Mg). Ces sols contiennent peu de Ca et Mg ($Ca = 3.08$ meq/100 g ; $Mg = 2.07$ meq/100 g) mais le rapport Mg/Ca est assez faible pour dénoter une structure stable. Cependant, la teneur relative en Na et le peu de divalents dans le complexe argilo-humique laissent prédire une structure facilement dégradable. Il serait donc envisageable de procéder à des amendements calci-magnésiens.

- Les sulfures (S). Les observations de terrains ont montré par endroit des dégagements de H_2S et de précipités de monosulfate de fer (FeS) autour des racines du riz. Ce qui a probablement aggravé la toxicité ferreuse au début de la submersion. Mais avec l'effet du barrage il est probable que les dérivés sulfidiques seront d'année en année entraînés en profondeur.

- La Silice (Si). Aucune carence n'est observée.

- Le Fer (Fe). Des symptômes de "bronzing" assez prononcés ont été observés sur la parcelle pendant les premières semaines de submersion accompagnant la carence en P avec une reprise de la végétation. Les observations faites sur les parcelles paysannes montrent que le billonnage limite les effets du "bronzing" en comparaison avec la culture à plat dans

L'essai ISRA. Il est observé des précipités importants de Fe dans les sillons et une meilleure aération sur le billon empêchant ainsi l'absorption de fortes quantités de fer soluble.

Les teneurs en fer soluble et échangeable sont moins élevées que sur l'essai "assistée de nappe" (Fe = 41 ppm contre 70 ppm) cependant les symptômes étaient plus marquants sur le "cycle court" probablement à cause des toxines.

La présubmersion et le travail du sol (billonnage) peuvent être des solutions à cette contrainte.

- L'Aluminium (Al). Peu ou pas de contraintes de toxicité aluminique ont été observées. Probablement parce que les pH (4.80) de ces sols sont situés au dessus du pH favorable à la libération des ions Al. Cependant, l'Aluminium demeure une contrainte potentielle car les sols étant riches en M.O. les Eh peuvent décroître à des valeurs même à pH 5 il peut y avoir libération d'ion Al.

- Le Zinc (Zn). Pas de carence observée. Cependant, l'antagonisme Zn - Fe peut en engendrer une contrainte sérieuse.

En résumé, les sols de riziculture "cycle court" inondés pendant une période relativement longue, situés vers le lit entre les sols de rizière "de nappe" et le "cycle long" sont des Sulfic Tropaquepts. Ils sont acides, très légèrement salés, riches en M.O. et en azote (avec peu de pertes possibles sauf par percolation). Leurs contraintes majeures demeurent la carence en P, la toxicité ferreuse aggravée par la production de toxines. Ils sont probablement susceptibles à des carences en Zn par antagonisme avec le Fe et des potentialités de toxicité aluminique. Leur faible teneur en divalent et surtout Ca, leur confère une structure peu stable.

Tableau 2. Propriétés chimiques moyennes des sols de la toposéquence
de Djibélor et de Katouré

Les sols	GRANULOMETRIE (μ m %)			ANALYSES CHIMIQUES															
	Argile	Limon	Sable	C	M.O.	CE	pH	pH	N	P _{tot}	Pass	K _{ass}	Bases Ech. meq/100 g				CEC	Fe	Al
	< 2	2.20	20.2000	%	%	mmhos/ cm 1/5	eau 1/2.5	Kcl	P.1000	P.1000	ppm	ppm	Ca	Mg	Na	K	meq/100 g	ppm soluble	ppm
Plateau Djibélor	9.90	3.75	86.35	0.39	0.67	0.09	4.55	4.07	0.41	0.55	6.68	3.77	0.45	0.33	0.185	0.13	2.64	-	-
Nappe Djibélor	10.96	21.03	68.01	2.11	3.63	0.41	4.78	4.20	1.56	1.04	11.99	3.25	2.09	1.19	0.53	0.33	10.26	134	15
Cycle Moyen Djibélor	34.14	36.60	29.26	2.66	4.58	0.49	3.9	3.6	2.14	1.00	1.37	3.18	1.96	1.23	0.39	0.35	17.01	118	33
Cycle Long Djibélor	24.76	41.30	33.94	3.46	5.94	0.43	4.0	3.8	2.50	1.33	2.08	4.70	1.50	0.63	0.52	0.40	13.43	120	29
Nappe Katouré	43.92	34.28	21.80	1.83	3.14	0.06	4.50	3.80	1.37	0.61	1.54	2.80	0.84	1.28	0.44	0.36	19.27	71	-
Cycle Court Katouré	46.25	39.79	13.96	2.44	4.20	0.16	4.80	4.16	2.65	0.88	1.07	2.85	3.08	2.07	0.59	0.29	28.33	49.33	-

.../

B/ ASPECTS AGRONOMIQUES

Il importe de signaler que le dispositif statistique en split-split-plot a été simplifié en split-plot en raison du fait que le deuxième facteur (fongicide) n'a pas eu d'effet. Néanmoins pour une étude de fertilisation avec les traitements fumure assignés au "main plot", le degré de précision des effets mesurés sur la parcelle principale est sacrifié au profit du deuxième facteur (les variétés). Donc le dispositif utilisé par l'équipe pluridisciplinaire met l'accent plus sur les variétés que les niveaux de fertilité. Ainsi, si la précision était recherchée sur les niveaux de fumure ceux-ci devraient être assignés à la sous-parcelle. Cependant, si on s'attend à des effets fumure beaucoup plus importants que ceux des variétés, le dispositif peut être maintenu comme avant pour augmenter les chances de détecter les différences variétales les plus faibles.

Les coefficients de variation observés comparés à ceux recherchés pour ^{une} étude de fertilisation (10-12 %) nous édifieront sur la qualité du choix d'un tel dispositif.

Les essais implantés à Djibélor (essai N) et à Katouré (NPK) ont été suivis pendant la campagne 1985. Certaines composantes du rendement (tallage, hauteur, densité des panicules) et le rendement lui même ont été mesurés. Cependant, les discussions ne porteront que sur ce dernier.

1. Effet des engrais N sur sols de plateau de Djibélor :

Les données de rendement en paddy sur le plateau de Djibélor ne peuvent pas faire l'objet d'une analyse statistique en raison de la perte de plusieurs parcelles après une forte érosion du sol.

2. Effet des engrais N sur les sols de vallées intérieures et de bordure du plateau de Djibélor :

2.a. Sur sols de rizière "assistée de nappe"

Il y a effet azote sur les rendements et leurs composantes ($\alpha = 0,05$). Aussi un effet hautement significatif des variétés a été observé ($\alpha = 0.01$). Cependant, le coefficient de variation (CV = 12.94 %) est à la limite d'une assez bonne précision. La figure 1 montre que pour les doses faibles (0N et 25N), la variété IKP est la plus productive. Pour les doses fortes (50N et 100N) la Dj12.529 et la TOX728 sont plus productives. La variété la moins productive mais la plus sensible à l'effet azote est l'IRAT133. Le traitement mathématique de sa réponse à l'azote donne l'équation suivante :

$$Y = 1100 + 21.69X - 0.1037X^2 \quad R^2 = 58 \%$$

avec Y = rendement en paddy kg/ha

X = azote apporté en unité N

L'analyse du traitement mathématique montre que la variété IRAT133 est sensible à l'azote du sol (la constante 1100 élevée) et aussi à l'apport d'azote (coefficient 21.69 élevé) et le maximum de production se situe à la dose X = 104 N avec un rendement de Y = 2.234 t/ha. Ce rendement maximal est nettement inférieur à celui obtenu par cette variété en conditions plus favorable (4t/ha MBODJ et al., 1984)⁽¹⁾. Ce qui indique l'existence d'autres contraintes pour la productivité variétale. Celles identifiées sont principalement la toxicité ferreuse et la déficience en phosphore. Afin de rentabiliser au maximum l'apport de fumure N sur ces Tropaquets les solutions listées dans la partie diagnostic s'imposent. L'application de ces solutions doit faire l'objet de tests pour dégager un optimum économique. Néanmoins l'IKP, la Dj12.529 et la TOX728 peuvent être utilisées dans les mêmes conditions contraignantes par le paysan de faible revenu avec des rendements de 2 à 3 t/ha.

(1) MBODJ, Y ; G. DEMAY, S. GAYE et S. DIAW. 1985. Résultats analytiques des actions multilocales d'évaluation des variétés de riz en présence de différentes doses d'engrais. ISRA P/Riz 28p.

L'équation de taïlorisation, qui permet de prédire les rendements escomptés par une dose d'azote donnée dans un sol de même propriété, a été calculée :

$$F_N = 65Y - 447S_N$$

où F_N = apport en N (unité N)

Y = rendement en paddy (t/ha)

S_N = teneur en azote du sol (en %)

Le tableau 3 montre les valeurs prédites. Un tel type d'équation réalisée en milieu contrôlé (comme prévu au départ dans ce travail) pourrait donner des indications de réduction de production due aux contraintes édaphiques par la déviation des valeurs mesurées. Ce qui pourrait faciliter la décision économique de lever ces contraintes.

Tableau 3. Comparaison des rendements en paddy obtenus aux valeurs prédites par l'équation de taïlorisation et la régression.

Fumure N en unité N	Rendement en paddy en t/ha		
	Y. mesuré	Y. taïlorisation	Y. régression
0	1.074	1.073	1.100
25	1.648	1.457	1.578
50	1.867	1.842	1.925
100	2.218	2.611	2.232

2.b. Sur sols de rizière. "cycle moyen" :

L'analyse statistique montre un effet azote sur les rendements en paddy et une différence intervariétale. Les coefficients de variation (CV azote = 18.92 % et CV variété = 16.94 %) montrent une grande variabilité des rendements. Dans l'ensemble la variété B2360 est la moins productive toutes doses confondues. La figure 2 indique

.../

que pour les doses faibles (0N et 25N), la BW248.1, la IR2071.586 et la IR4422 produisent les meilleurs rendements (2.1 t à 2.7 t). Pour les doses élevées (100N) IR4422 et BW248.1 donnent des rendements de plus de 3 t/ha. La production optimale de ces variétés en milieu de moindres contraintes édaphiques se situe entre 5 et 7 t pour les variétés IR et même 10 t pour la BW. Ce qui permet d'apprécier la réduction des rendements due aux effets directs des facteurs limitants (les pertes possible de N, la déficience en P et les possibilités d'immobilisation, la carence en K, la faible teneur en Ca et Mg, la toxicité ferreuse aggravée par les toxines (H₂S)) ou de leurs interactions qui peuvent créer un déséquilibre nutritionnel. Les solutions comme l'apport d'amendement calci-magnésien suivi d'un apport de fumure P peuvent être valablement envisagées. Afin de pouvoir prédire les rendements dans les conditions de l'expérimentation et dans les conditions similaires mais avec une richesse en azote du sol différente, deux types d'approches peuvent être envisagés :

- Le traitement mathématique des réponses à l'azote donne les équations suivantes :

$$Y = 1476 + 36X - 0.19X^2 \quad \text{pour Br51.46.5}$$

$$Y = 1467 + 10.28X + 0.018X^2 \quad \text{pour B2360}$$

$$Y = 2314 + 7.49X + 0.0223X^2 \quad \text{pour BW248.1 } \curvearrowright$$

avec X et Y déjà définis.

L'analyse de ces équations mathématiques montre que les variétés IR4422 et BW248.1 utilisent mieux l'azote du sol que Br51.46.5 et B2360 par compte la Br51.46.5 répond mieux à l'apport d'azote suivie de B2360 et viennent la BW248.1 et la IR4422. Ceci permet de recommander au paysan qui n'utilise pas d'engrais les IR4422 et BW248.1.

- Pour prédire les rendements la teneur en azote du sol doit être prise en considération par les équations de taïlorisation suivantes :

$$F_N = 84Y - 702S_N \quad \text{pour Br51.46.5}$$

$$F_N = 147Y - 1758S_N \quad \text{pour IR4422}$$

$$F_N = 111Y - 780S_N \quad \text{pour B2360}$$

$$F_N = 96Y - 100S_N \quad \text{pour BW248.1}$$

F_N , Y et S_N déjà définis.

Les valeurs des coefficients multiplicatifs de S_N confirment l'analyse sur les variétés utilisant mieux l'azote du sol. L'importance d'une étude en milieu contrôlé pour mieux apprécier les baisses de rendements dûes aux facteurs limitants par l'utilisation de cet outil mathématique permet une rapide prise de décision économique pour la levée des contraintes. Le tableau 4 montre les valeurs prédites par les deux techniques.

Tableau 4. Comparaison des rendements en paddy de 4 variétés de riz aux valeurs prédites par la taïlorisation et la régression.

Fumure N apportée (unité N)	Rendement en paddy t/ha		
	Y. mesuré	Y. taïlorisation	Y. regression
		<u>Br51.46.5</u>	
0	1.796	1.788	1.476
25	2.140	2.086	2.257
50	2.729	2.384	2.801
100	2.601	2.979	3.176
		<u>IR4422</u>	
0	2.558	2.559	2.465
25	2.386	2.730	2.631
50	2.988	2.899	2.797
100	3.120	3.239	3.128
			.../

(suite tableau 4)

Fumure N apportée (unité N)	Rendement en paddy t/ha		
	Y. mesuré	Y. taïlorisation	Y. regression
		<u>B2360</u>	
0	1.504	1.504	1.467
25	1.657	1.729	1.735
50	2.097	1.954	2.026
100	2.676	2.405	2.675
		<u>BW248.1</u>	
0	2.242	2.229	2.314
25	2.725	2.490	2.515
50	2.595	2.750	2.744
100	3.316	3.271	3.286

2.c. sur sols de rizière profonde ou "cycle long" :

L'effet de l'azote n'a été significatif qu'au niveau du nombre de panicule/m². Cet effet sur l'une des composantes du rendement ne s'est pas fait ressentir sur la production en grain à cause, principalement, de l'effet conjugué de la toxicité ferreuse, de l'effet des toxines comme H₂S et probablement de la carence en P. Néanmoins les différences intervariétales sont hautement significatives pour leur rendement, dénotant des comportements différents par rapport aux contraintes édaphiques. La figure 3 montre que la BKN6986.38.1 est la moins productive (dégâts causés par les oiseaux). Pour les doses faibles (0N et 25N) la ROCK 5 est la plus productive suivie de la DA29 et la Djabon. Avec les doses plus fortes la BKN6987.161 a la meilleure productivité suivie de ROCK5 et de Djabon.

Aucune prédiction des rendements n'est faisable à cause de la grande variabilité. Cependant, on peut constater que d'une manière générale, les rendements sont inférieurs aux rendements optima obtenus dans des conditions de moindres contraintes édaphiques. La connaissance de la part des contraintes dans la baisse des rendements est le facteur principal de décision économique pour la levée de ces facteurs limitants.

3. Effet des engrais NPK sur les sols de vallées intérieur.
à Katouré :

3.a. sur sols de rizière "de nappe" :

L'effet des engrais NPK sur les rendements en paddy est significatif et les variétés se comportent différemment ($\alpha = 0.05$ et $\alpha = 0.01$ respectivement). Les coefficients de variation sont élevés (CV engrais = 26 % et CV variété = 40 %). La figure 4 montre que sans engrais les variétés se valent à l'exception de l'IRAT112 qui d'une manière générale donne les plus bas rendements. A la dose faible (25 %) Barafita et TOX728 donnent les meilleurs rendements et pour les fortes doses Barafita semble être la variété la plus productive et les IRAT les moins productives. Le traitement mathématique des courbes de réponse montre que seule Barafita présente une réponse quadratique :

$$Y = 1254 + 23.17X - 0.14X^2$$

Y et X déjà définis.

L'interprétation de cette équation montre que Barafita utilise bien la fertilité naturelle du sol et répond bien à l'engrais NPK. Cependant, son maximum de production se situe à la dose 82.75 % de la dose préconisée correspondant à un rendement maximum de 2.213t/ha.

Ce rendement maximal dans les conditions de contraintes édaphiques diverses est inférieur au rendement obtenu sur d'autres sites avec des conditions de moindres contraintes (4 à 5 t). Ceci confirme, toute chose restant égale par ailleurs, le diagnostic dégagé plus haut.

L'équation de taïlorisation est difficile à réaliser dans ce cas où trois facteurs (N,P,K) comme éléments du sol et comme intrants doivent être combinés.

3.b. Sur sols de rizière submergée "cycle court" :

Il n'y a pas effet engrais NPK sur les rendements en paddy. Néanmoins, pour toutes doses confondues la Dj684D donne les meilleurs rendements suivie de la KAU1661, de ITA212 et BW100. La variété la moins productive est la TOS4688.

Les contraintes de toxicité ferreuse, de fixation de P sont telles que la réponse à l'engrais est masquée et la productivité d'une manière générale très basse (tableau 5).

Tableau 5. Rendements en paddy de cinq variétés de riz pour des doses croissantes de NPK en rizière de cycle court à Katouré.

Dose NPK	Rendement en paddy t/ha				
	TOS4688	KAU1661	ITA212	BW100	Dj684D
0	0.865	2.400	2.300	2.250	2.550
21N, 9P, 13.5K	0.735	2.150	1.800	1.750	1.750
42N, 18P, 27K	1.000	2.200	2.550	2.300	2.400
84N, 36P, 54K	1.200	2.650	2.500	2.700	2.850

.../

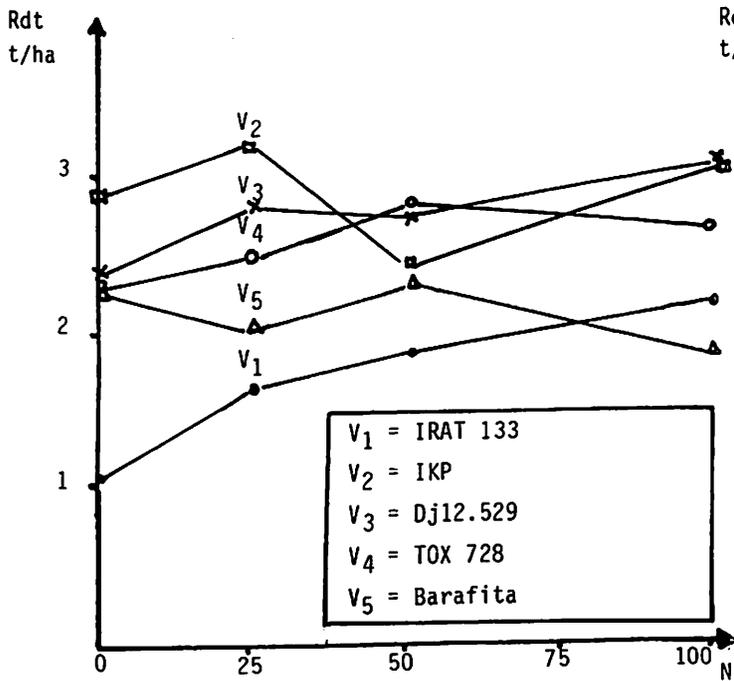


Fig. 1 : Effet des doses croissantes d'azote sur les rendements en paddy de cinq variétés de riz sur sols de rizière "assistée de nappe" - Djibélor.

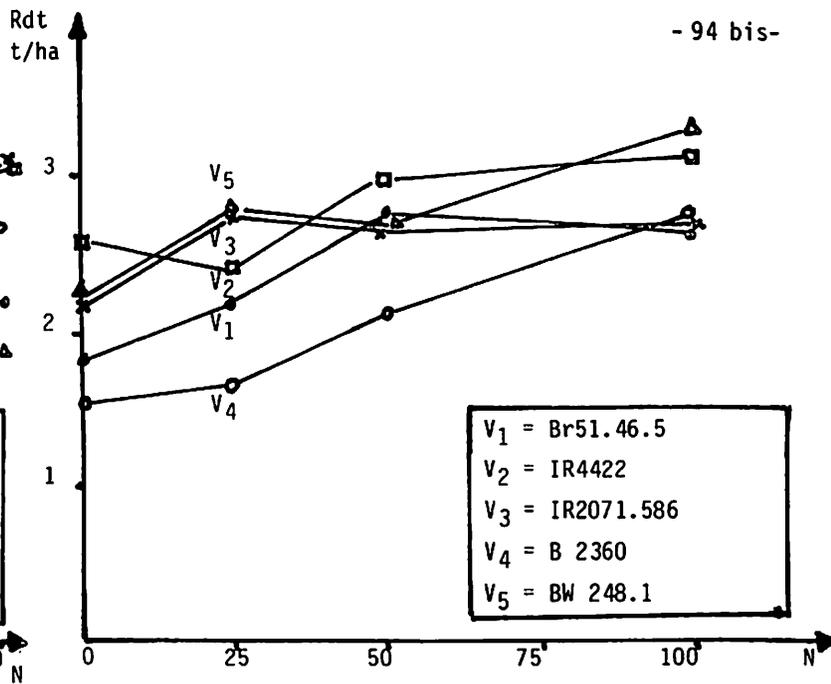


Fig. 2 : Effet des doses croissantes d'azote sur les rendements en paddy de cinq variétés de riz sur sols de rizière "de cycle moyen" Djibélor

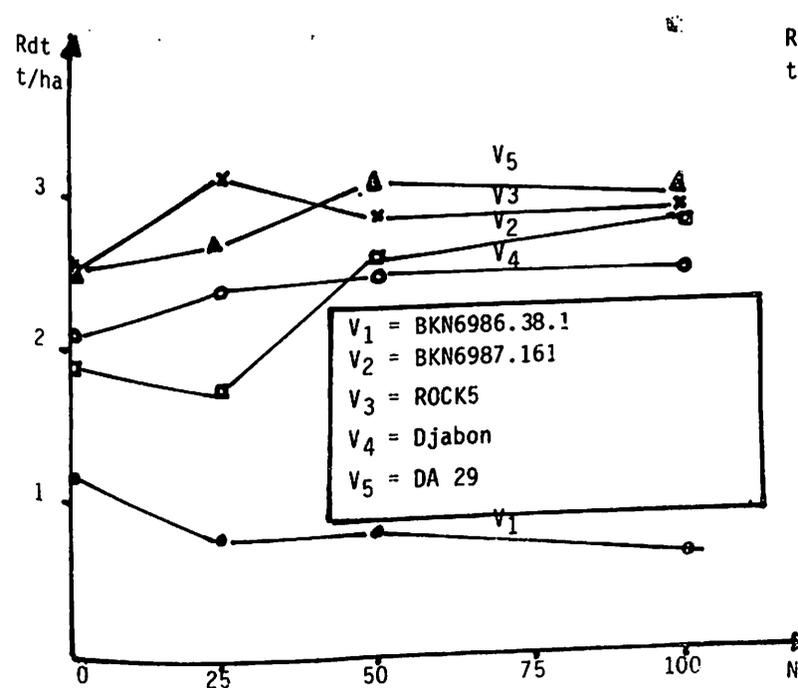
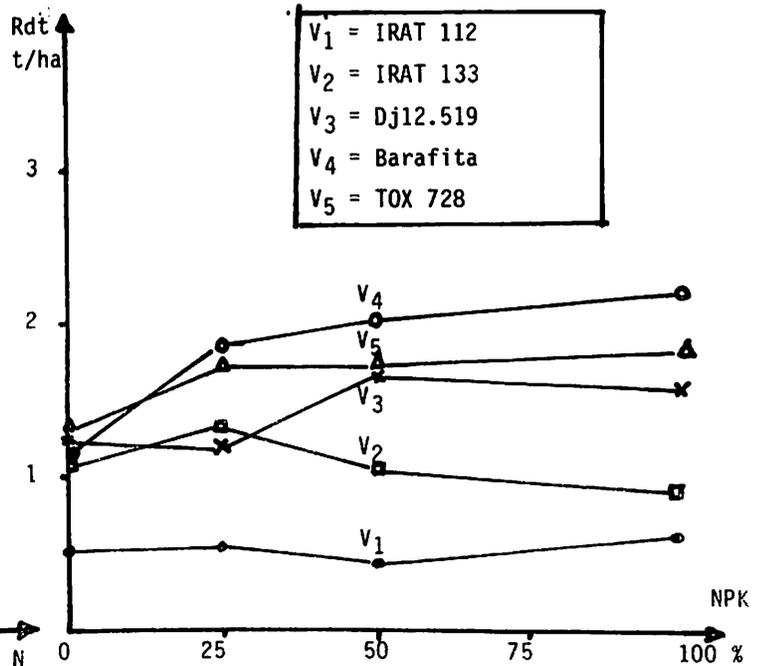


Fig. 3 : Effet des doses croissantes d'azote sur les rendements en paddy de cinq variétés de riz sur sols de rizière de "cycle long" - Djibélor.



Fi . 4 : Effet des doses croissantes de N.P.K. sur les rendements en paddy de cinq variétés de riz sur sols de rizière " de nappe " - Katouré - Les abscisses sont des % de la dose préconisée. (84N-36P-54K)

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

L'objectif recherché était d'interpréter les données physico-chimiques des sols de la toposéquence de Djibélor et de Katouré en s'appuyant sur la dynamique des processus physico-chimiques dans les sols et les observations sur la plante en croissance afin d'établir un diagnostic des contraintes édaphiques. Contraintes qui du reste doivent être confirmées ou infirmées par les rendements obtenus.

- Les sols de plateau de Djibélor (oxisols) présentent des contraintes multiples : pauvre en M.O., texture légère et filtrante avec une structure peu stable, une forte susceptibilité à l'érosion, CEC faible, fortement carencés en N, P et K avec un fort pouvoir fixateur de phosphore. Ces sols sont ^{peu} aptes à la riziculture. Les rendements de cette année ont été médiocres à cause d'une multitude de facteurs empêchant toute analyse statistique sérieuse. L'amélioration de ces sols doit passer par un apport de M.O. (SESBANIA ROSTRATA), de P, de Ca et un fractionnement répété de N.

- Les sols de rizière "assistée de nappe" de Djibélor de la classe des Tropaquepts avec des intergrades allant du Typic au Sulfic sont très acides avec une potentialité de toxicité ferreuse et aluminique de même que des pertes de N par dénitrification. Ils sont pauvres en P et K. Les variétés qui y sont productives sont l'IKP pour les doses faibles en N et la Dj12.529 et TOX728 pour les doses plus élevées. Néanmoins, les traitements mathématiques tenant compte des conditions du milieu donnent des prédictions nettement inférieures aux valeurs obtenues ailleurs dans des conditions moins contraignantes ; ce qui confirme le diagnostic. L'étude en serre devrait aider, avec l'utilisation des équations de prédiction, à bien justifier une décision économique allant dans le sens de leur amélioration.

Les solutions envisageables pour la levée des contraintes liées aux sols sont la maîtrise des écoulements hypodermiques des eaux chargées en fer, un apport de μ P en P, un enfouissement des engrais N en zone réduite et les amendements calcimagnésiens.

- les sols de rizière de "cycle moyen" de Djibélor (Sulfic Tropaquepts) sont moyennement pourvus en azote avec des possibilités de pertes importantes, très pauvres en P avec un pouvoir fixateur en P élevé, pauvre en K. Ils sont susceptibles de présenter une toxicité ferreuse et/ou aluminique. Ils sont pourvus en Ca et Mg et une bonne teneur en M.O. Les facteurs limitants les plus importants sont la toxicité ferreuse, la carence en P et les pertes de N.

La variété B2360 y est la moins productrice. Pour les doses faibles (0 et 25 N) la BW248.1, l'IR2071.586 et l'IR4422 donnent les meilleurs rendements (2.1 t/ha à 2.7 t/ha). Pour les doses plus élevées l'IR4422 et la BW248.1 donnent des rendements de plus de 3 t/ha.

Les traitements mathématiques et les équations de taïlorisation donnent des prédictions de rendement dans les conditions du milieu très inférieures à celles obtenues antérieurement dans des milieux moins contraignants. La différence de rendements peut aller jusqu'à 2.5 t - 4 t/ha (l'étude en milieu contrôlé servirait à mieux déterminer les différences et leurs causes spécifiques). L'analyse économique pour la faisabilité de l'amélioration foncière est basée principalement sur cet incrément de production supplémentaire créée par l'intrant.

- Les sols de rizière "cycle long ou profonde" de Djibélor sont de la classe des Sulfic Tropaquepts à proximité des Sulfaquepts et Sulfaquents des parties basses.

Ils sont généralement bien pourvus en N et M.O. Les contraintes majeures ont été la carence en P et la toxicité ferreuse aggravée par la présence de H₂S.

Le diagnostic est confirmé par le niveau des rendements obtenus, le manque d'effet N (sols bien pourvus en N avec peu de perte) et la présence de panicules avortées du fait de la toxicité ferreuse. Cependant, les variétés se comportent différemment. La Rock5 est la plus productive aux doses faibles (0 et 25 N). La grande variabilité des rendements a empêché une modélisation. Il a néanmoins été constaté que les rendements maxima dans les conditions d'études sont nettement inférieurs aux potentialités de production. Ce qui est dû principalement aux contraintes édaphiques recensées dans le cadre du diagnostic.

- Les sols de rizière "assistée de nappe" de Katouré sont des Sulfic Tropaquepts avec un régime hydrique présentant des phases rapides d'humectation/dessiccation dues à la succession argile/sable. Ce phénomène peut entraîner des pertes considérables de N et une immobilisation de P. Ils ont aussi une potentialité de toxicité ferreuse. Ils sont très sensibles à la sécheresse.

L'analyse agronomique montre une bonne réponse aux engrais N-P-K confirmant le diagnostic. La variété locale Barafita montre une grande supériorité de production (mais peut être très sensible à la pyriculariose - communication personnelle (Y. MBODJ) et les variétés IRAT les moins productives.

Le traitement mathématique sur Barafita montre sa capacité d'utiliser l'azote du sol. Néanmoins Barafita n'a pas atteint ses potentialités de production.

- Les sols de rizière "cycle court" / ^{de Katouré} sont des Sulfic Tropaquept
Ils sont acides très légèrement salés, riche en M.O. et en azote

(avec peu de perte). Les contraintes majeures demeurent la carence en P et la toxicité ferreuse aggravée par la production de toxines. L'analyse agronomique indique peu d'effet des engrais NPK (richesse en N, capacité fixatrice de P mais aussi libération pendant la submersion). Néanmoins la Dj684D semble être la variété la plus appropriée. La toxicité ferreuse a été le facteur principal de réduction des rendements. Ce constat de diagnostic n'aura son importance que si une recherche tant appliquée que fondamentale est dirigée vers des solutions pouvant aider à la levée des contraintes édaphiques. Cependant, vue les difficultés économiques que traverse le pays, les capacités et la créativité du chercheur national doivent être axées vers les solutions les plus économiques. C'est en faisant montre de cette philosophie que les axes de recherches suivants sont proposés :

1* Recenser les acquis de la recherche et faire le criblage des solutions les plus économiques afin de faire un transfert de paquet technique dans un délai assez court.

2* Entreprendre une approche d'ensemble de regroupement des grandes unités plus ou moins homogènes afin de recenser les problèmes édaphiques dans chaque unité. Ce qui permettra une meilleure systématisation des actions de recherche et permettra une généralisation et une valorisation plus faciles des résultats obtenus. Pour se faire différentes étapes sont nécessaires :

- compartimenter la zone d'intervention en unités distinctes suivant leurs conditions hydrographiques
- dans chaque zone hydrographique, établir les grandes unités géomorphologiques
- pour chaque unité géomorphologique, faire la typologie des rizières en fonction des conditions hydrodynamiques qui y prévalent

- dans chaque type de rizière, faire un diagnostic des facteurs limitants. L'utilisation des techniques géostatistiques permettront de minimiser les points de mesure. Ainsi des cartes de contraintes peuvent être faites et couplées de commentaires sur la dynamique des facteurs physico-chimiques. Dans un premier temps l'utilisation de l'index de Smith permettra de voir l'hétérogénéité du milieu étudié. L'objectif recherché dans cette approche est d'arriver à cerner les contraintes dans chaque zone homogène afin de proposer des techniques plus efficaces de fertilisation et d'amélioration foncière. Ces propositions seront raffinées sur le plan économique et intégrées dans l'ensemble pluridisciplinaire. Néanmoins avant la réalisation d'un tel projet ambitieux mais indispensable pour la valorisation des acquis de la recherche certaines actions, compte tenu des contraintes déjà identifiées peuvent se poursuivre pour être plus tard intégrées dans le système.

3* Rechercher et tester les fumures organiques telles que SESBANIA ROSTRATA, les dépôts des oiseaux migrateurs comme les gouanos (en accord avec les ornithologues), le fumier du bétail (zone de parcage en accord avec les zootechniciens).

4* L'utilisation du Gypse (Taïba) dans les zones à forte toxicité ferreuse.

5* L'utilisation des phosphates pour réduire les carences en P et atténuer la toxicité ferreuse.

6* Etudier de manière fondamentale les pertes de N afin de dégager des solutions d'une utilisation plus efficace des engrais N.

7* Etablir en milieu contrôlé pour chaque type de riziculture et chaque variété des modèles de fertilisation à des concentrations

croissantes des éléments comme le Fe, Al, Mn, Zn, Si, N, P, K.

8* Etablir dans les zones d'intervention actuelles des cartes de rizicultivabilité basées sur les unités taxonomiques et accompagnées de fascicules définissant les contraintes et les solutions envisageables pour les contourner ou les lever.

9* Participer à l'effort global de sélection de variétés adaptées.

10* Etudier les techniques culturales comme moyen de lutte contre la toxicité ferreuse (billonnage).

11* Continuer l'effort global de diagnostic des contraintes édaphiques.

L'ensemble de ces axes doivent trouver leur place dans un chronogramme des actions de recherche définies par rapport aux objectifs fixés. Ce chronogramme permettra de faire une correcte évaluation de l'évolution des recherches vers la finalisation des buts de développement économique fixées par l'Etat.

.../

BIBLIOGRAPHIE

- ABICHANDANI, C.T. and PATNAIK. 1961.** Effect of lime application on availability of nitrogen and rice yield on water-logged soils. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 9 : 55-61.
- AHMAD, N. 1967.** Seasonal changes and availability of phosphorus in swamp rice soil of North Trinidad. *Trop. Agric.* 44 : 21-32.
- AIYER, S.P. 1945.** The significance of sulfur in the manuring of rice. *Indian J. Agric. Sci.* 15 : 283-286.
- ALAM, S.M. and A.B. KHAN. 1966.** Interactions of iron and manganese on the uptake of iron and yield of rice plants. Pages 95-99 in *Proc. Agric. Sym. Energy Cent. Dacca.*
- All India Coordinated Rice Improvement Project (AICRIP).** Annual report for 1976.
- ANGLADETTE, A. 1959.** *Le riz.* Presses universitaires de France. Collection "Que sais-je ?" - Paris.
- BARBER, D.A., M. EBERT, and N.T.S. EVANS. 1962.** The movement of $^{15}O_2$ through barley and rice plants *J. Exp. Bot.* 13 : 397-403.
- BEYE, G. 1973 (a).** La fertilisation phosphatée et azotée du riz sur sols sulfatés acides du polder de Medina (Basse Casamance). *L'Agron. Trop.*, vol XXVIII N° 8, p. 767-775.
- BEYE, G. 1973 (b).** Etude comparative de différents engrais phosphatés pour la fumure phosphatée du riz en sols de rizière très acides de Basse Casamance. *L'Agron. Trop.*, vol XXVIII, N° 10, p. 935-945.

- BEYE, G. 1974. Etude comparative de l'action de la potasse et de la paille enfouie sur le développement et le rendement du riz sur sol argileux de Basse Casamance. L'Agron. Trop., vol XXIX, N° 8, p. 803-811.
- BEYE, G., M. TOURE et G. ARIAL. 1974. Etude de la chimie des principaux sols submergés de Basse Casamance, en relation avec le développement et la nutrition minérale du riz. I.S.R.A. Station Rizicole de Djibélor.
- BEYE, G. 1977 (a). 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., vol XXXII, N° 1, p. 31-40.
- BEYE, G. 1977 (b). Etude 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. L'Agron. Trop., vol XXXII, N° 1, p. 41-50.
- BEYE, G. 1977 (c). Sols ingrats et remèdes. Conférence au stage de formation des spécialistes de la production rizicole de l'A.D.R.A.O.
- BHAUMIK, H.D. and R.L. DONAHUE. 1964. Soil acidity and the use of lime in India. Unnumbered bull. Farm information unit. Directorate of Extension. Ministry of Food and Agriculture Community Development and Cooperation. Govt. of India, New Dehli.
- BHUMBLA, D.R., S.C. MANDAL, K.G. TEJWANI and I.P. ABROL. 1971. Review of soil research in India. in J.S. Kanwar and S.P. Raychandhuri, ed. India Soc. Soil. Sci. New Dehli.

- BIRCH, H.F. 1958. The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability. *Plant Soil* 10 : 9-31.
- BHOR, S.M., M.M. KIBE and G.K. ZENDE. 1970. Interrelationship between free lime status of soils and the uptake of Mn, P and Ca by paddy and jowar plants. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 18 : 479-484.
- BOHN, H.L. 1971. Electromotive force of inert electrodes in soils suspensions. *Soil Sci. Soc. Am., Proc.* 32 : 211-215.
- BORTHAKUR, H.P. and N.N. MAZUNDER. 1968. Effect of lime on nitrogen availability in paddy soil. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 16 : 143-147.
- BROADBENT, F.E. and M.E. TUSNEEM. 1971. Losses of nitrogen from some flooded soils in tracer experiments. *Soil Sci. Soc. Am., Proc.* 35 : 922-926.
- BROESHART, H.E., HAUNOLD and M. FRIED. 1965. The effect of water conditions and oxidation - reduction status of rice soils on the availability of soil and fertilizer phosphorus. *Plant Soil* 23 : 305-313.
- BUOL, S.W., P.A. SANCHEZ, R.B. CATE, Jr. and M.A. GRANGER. 1975. Soil fertility capability for fertility management. Pages 126-141. in *Soil management in tropical America*. North Carolina State University, Raleigh.
- CHANG, S.C. 1965. Application of phosphorus fractionation to the study of the chemistry of available phosphorus. *Soils. Fert. Taiwan* 1-15.
- CHANG, S.C. and M.L. JACKSON. 1957. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.* 84 : 133-144.

- CHANG, S.C. and W.K. CHU. 1959. Radioactive assay of the availability of soil phosphorus in lowland rice soils. Pages 936-941. in Proc. III Japan Conference on radio-isotopes
- CHANG, S.C. and W.K. CHU. 1961. The fate of soluble phosphate applied in soils. J. Soil Sci. 12 : 286-293.
- CHAO, S.W. and C. TSUI. 1963. The effect of micronutrients on the growth and respiration of rice with special reference to the respiratory inhibitors. Acta Bot. Sin. 11 : 67-75.
- CHAUDHRY, F.M., M. SHARIF, A. LATIF and R.H. QURESHI. 1973. Zinc-Copper antagonism in the nutrition of rice. (Oryza sativa L) Plant soil 38 (3) : 573-580.
- CHIANG, C.T. 1963. A study on the availability and form of phosphorus in paddy soils. 1. The interrelationship between available P, pH, and Eh. Soil Fert. Taiwan : 61.
- CHOLITKUL, W. and E.H. TYNER. 1971. Inorganic phosphorus fractions and their relation to some chemical indices of phosphate availability for some lowland rice soils of Thailand. Int. Symp. on Soil Fert. Evaluation Proc. Indian Soc. Soil Sci. new Dehli 1 : 7-20.
- COMHAIRE, M. 1964. La fumure du riz. Centre International d'Information et de Documentation des Producteurs de Phosphates Thomas. 193 p.
- CORONEL, A.E. and E.F. WALLIHAN. 1971. The effects of nutrients deficiencies of nitrogen, potassium and manganese on the critical phosphorus concentration in the rice plants (Oryza sativa L.) Phillip. Agric. 55 (1,2) : 83-96.

- DAVID, J.G. 1960. Time and methods of phosphate fertilizer application Pages 255-268. in International Rice Research Institute the Mineral Nutrition of Rice Plant. Johns Hopkins Press. Baltimore, Maryland.
- De, P.K. and S. DIGAR. 1954. Loss of nitrogen gas from water-logged Soils. J. Agric. Sci. 44 : 129-132.
- DEB, D.L. and C.R. ZELIANG. 1975. Zinc-Iron relationships in soil as measured by crop response, soil and plant analysis. Technology 12 : 126-130.
- DOKIYA, Y., N. OWA and S. MITSUI. 1968. Comparative physiological study of iron, manganese and copper absorption by plants. III. Interaction between Fe, Mn and Cu on the absorption of elements by rice and barley seedlings. Soil Sci. Plant Nutr. 14 : 169-174.
- DYANAND, S., M.B. KAMATH and N.N. GOSWANI. 1976. Effect of lime and phosphate on the uptake and utilization of phosphorus by rice in acid laterite soils. J. Nuclear. Agric. Biol. 5 : 61-64.
- ERIKSSON, E. 1952. Physico-chemical behaviour of nutrients in soils. J. Soil Sci. 3 : 238-250.
- FOX, R.L., S.K. DEDATTA and G.S. DONALD. 1962. Phosphorus solubility and availability to plants and the aluminum statues of Hawaiian soils influenced by liming. International Soil conference. New zealand.
- FRANCK, R. 1971. Les sols rouges sur sables et sur grés d'Afrique Occidentale. Coll. Memoires O.R.S.T.O.M. N° 61, 257 p,
- FRANCK, R., J.F. TURENNE et J.F. VIZIER. 1963. Etude pédologique de la Haute Casamance. O.R.S.T.O.M. 181 p multigr.

- GANRY, F. 1978.** Etude de la nutrition azotée du riz pluvial cultivé sur sols hydromorphes "gris" de Casamance. I.S.R.A. / C.N.R.A. Bambey Mars 1978.
- GARCIA, J.L. 1973.** Sequential products of denitrification in Senegalese Paddy Soils. Ann. Microbiol. 124 B : 351-362.
- GIORDANO, P.M., J.C. NOGGLE and J.J. MONTVEDT. 1974.** Zinc uptake by rice as affected by metabolic inhibitors and competing cations. Plants Soil 41 : 637-646.
- GOSWAMI, N.N. 1975.** Phosphorus-deficient rice soils of India. Fert. News. 20 (9) : 25-29.
- GOTOH, S. and W.H. PATRICK, Jr. 1972.** Transformation of manganese in a water-logged soil as affected by redox potential and pH. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36 : 738-742.
- GROS, A. 1962.** Engrais. Maison Rustique. Paris.
- GUPTA, D.K.D. and P. BASUCHAUDHURI. 1974.** Effect of Molybdenum on the nitrogen metabolism of rice. Exp. Agric. 10 (4) : 251-255.
- HADDAD, G. et L. SEGUY. 1972.** Le riz pluvial dans le Sénégal méridional. Bilan de quatre années d'expérimentation (1966-1969). L'Agron. Trop., vol XXVII, N° 4 p 419-461.
- HIROSE, S. and K. KUMADA. 1963.** Mineralization of native organic nitrogen. J. Sci. Soil Tokyo 34 : 339-344.
- HSU, P.H. 1964.** Absorption of phosphate by aluminium and iron in soils. Soil. Sci. Soc. Am., Proc. 28 : 474-478.
- IGNATIEFF, V. et H.J. PAGE. 1959.** L'utilisation nationale des engrais. Etude agricole N° 43 de la F.A.O. Rome.

INADA, K. 1965. Studies on bronzing disease in rice plant in Ceylon.
Proc. Crop. Sci. Soc. Japan 33 : 315-323 in IRRI ed
Rice Soil pages 783.

INSTITUT INTERNATIONAL DE LA POTASSE (I.I.P.) 1955. Le riz et sa
fertilisation. Berne.

IRAT. 1970. Rapport d'activité agropédologique 1968-1969. Résumé
des travaux de fertilisation en Casamance. Avril 1970.

IRRI. (International Rice Research Institute) 1963. Annual Report
for 1962. Los banos Philippines.

IRRI (International Rice Research Institute) 1964. Annual Report
for 1963. Los banos Philippines.

IRRI (International Rice Research Institute) 1965. Annual Report
for 1964. Los banos Philippines.

IRRI (International Rice Research Institute) 1966. Annual Report
for 1965. Los banos Philippines.

IRRI (International Rice Research Institute) 1967. Annual Report
for 1966. Los banos Philippines.

IRRI (International Rice Research Institute) 1968. Annual Report
for 1967. Los banos Philippines.

IRRI (International Rice Research Institute) 1969. Annual Report
for 1968. Los banos Philippines.

IRRI (International Rice Research Institute) 1970. Annual Report
for 1969. Los banos Philippines.

IRRI (International Rice Research Institute) 1971. Annual Report
for 1970. Los banos Philippines.

IRRI (International Rice Research Institute) 1972. Annual Report for 1971. Los banos Philippines.

IRRI (International Rice Research Institute) 1973. Annual Report for 1972. Los banos Philippines.

IRRI (International Rice Research Institute) 1974. Annual Report for 1973. Los banos Philippines.

IRRI (International Rice Research Institute) 1975. Annual Report for 1974. Los banos Philippines.

IRRI (International Rice Research Institute) 1976. Annual Report for 1975. Los banos Philippines.

IRRI (International Rice Research Institute) 1977. Annual Report for 1976. Los banos Philippines.

IRRI (International Rice Research Institute) 1978. Annual Report for 1977. Los banos Philippines.

IRRI (International Rice Research Institute) 1979. Annual Report for 1978. Los banos Philippines.

IRRI (International Rice Research Institute) 1980. Annual report for 1979. Los banos Philippines.

IRRI (International Rice Research Institute) 1981. Annual Report for 1980. Los banos Philippines.

ISHIDA, H. and A. FUJINERA. 1965. Nutrio-physiological studies on low temperature-damaged rice plants and relationship between the amount of available manganese uptake by rice plants under low temperature conditions. J. Sci. Soil Manure, Jpn. 36 : 107-112.

.../

- ISHIZUKA, Y. 1961. Part 6. Effect of iron, manganese and copper level in culture solution on yield and chemical composition of the plant. J. Soil Sci. Manure Jpn. 32 : 97-100.
- ISHIZUKA, Y. and T. ANDO. 1968. Interaction between manganese and zinc in growth rice plants. Soil Sci. Plant Nutr. 14 : 201-206.
- ISLAM, A. and ISLAM. 1973. Chemistry of submerged soils and growth and yield of rice. II. Effect of additional application of fertilizers in soils at field capacity. Plant soil 39 : 567-579.
- JACOB, A. and COYLE. 1931. The use of fertilizers in tropical and subtropical agriculture. London. G.B.
- JACOB, A. 1958. Fertilizer use. Nutrition and Manuring of Tropical Crops. Hanover.
- JAYAWARDENA, S.D.G., T. WATABE and K. TANAKA. 1977. Relation between oxidizing power and resistance to iron toxicity in rice. page 783. in IRRI. Rice Soil.
- KARIM, A.Q.M.B. and M. MOHSIN. 1964. Iron-manganese relationship in the nutrition of rice. Pak. J. Soil Sci. 1 : 69-79.
- KATYAL, J.C. and F.N. PONNAMPERUMA. 1974. Zinc deficiency : a widespread nutritional disorder of rice in Agusan del Norte. Philipp. Agric. 58 : 79-89.
- KAUSAR, M.A., F.M. CHANDHRY, A. RASHID, A. LATIL and S.M. ALAM. 1976. Micronutrient availability to cereals from calcareous soils. I. Comparative Zn and Cu deficiency and their mutual interaction in rice and wheat. Plant soil 45 : 397-410.

- KAWAGUCHI, K. and K. KYUMA. 1969.** Lowland rice soils in Thailand. Reports on research in southeast Asia. Kyoto University.
- KAWAGUCHI, K. and K. KYUMA. 1977.** Paddy soils in tropical Asia. Their material nature and fertility. The university press of Hawai, Honolulu. 158 p.
- KHAN, S.K. and L.N. MANDAL. 1973.** Distribution of different inorganic forms of phosphorus in rice soils of west Bengal. J. Indian Soc. Soils Sci. 21 : 395-402.
- KHOUMA, M. and M. TOURE. 1981.** Lime and phosphorus effects on the growth and yield of rice in Casamance acidic sulfate soils. Presented at the 2d International Symp. on Acid Sulfate Soils.
- KRISHNAMOORTHY, C.H., P.K. NAIR, and N.S. JAJARAM. 1963.** Dose required to correct phosphorus deficiency in soil for rice. J. Indian Soc. Soil Sci. 11 : 159-164.
- MAHAPATRA, I.C. and W.H. PATRICK. 1969.** Inorganic phosphate transformation in waterlogged soils Soil Sci. 107 : 281-288.
- MAHAPATRA, I.C. and W.H. PATRICK, Jr. 1971.** Evaluation of phosphate fertility in waterlogged soils. Int. Symp. Soil Fert. Evaluation Proc. Indian. Soc. Soil Sci. New Dehli 1 : 53-62.
- MALHERBE, A. 1948.** Soil Fertility. Oxford University Press.
- MANDAL, L.N. 1964.** Effect of time, starch and lime on the transformation of inorganic phosphorus in waterlogged rice soil. Soil Sci. 97 : 127-132.
- MANDAL, L.N. and K.C. MANDAL. 1973.** Influence of organic matter and lime on the transformation of applied phosphate in

acid lowland rice soils. J. Indian Soc. Soil Sci. 21 : 57-62.

MANDAL, L.N. and S.K. KHAN. 1975. Influence of soil moisture regimes on the transformation of inorganic phosphorus in rice soils. J. Indian Soc. Soil Sci. 23 : 31-37.

MBODJ, Y. 1985. Résultats analytiques des actions multilocales d'évaluations des variétés de riz en présence de différentes doses d'engrais. Hivernage 84. I.S.R.A. Centre de Recherches Rizicole de Djibélor.

MC.GARITY, J.W. and R.J.K. MYERS. 1968. Denitrification activity in solodized solonetz of Eastern Australia. Soil Sci. Soc. Am., Proc. 32 : 812-817.

MC.GARITY, J.W. and J.A. RAJARATNAM. 1973. Apparatus of the measurement of losses of nitrogen as gas from the field and simulated field environments. Soil Biol. Biochem. 5 : 121-131.

MC.HARGUE, J.S. 1945. The role of manganese in agriculture. Soil Sci. 60 : 115-118.

MERZARI, A.H. and H. BROESHART. 1967. The utilization by rice of nitrogen from ammonium fertilizers as affected by fertilizer placement and microbiological activity. Pages 79-87. in isotope studies on the nitrogen chain. I.A.E.A., Vienna, Austria.

MICHEL, P. 1969. Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Etude Géomorphologie. 1167 pp. multigr., Thèse strasbourg 1964.

MITSUI, S. 1955. Inorganic nutrition, fertilization and soil amelioration for lowland rice. Yokend Press. 107 pp.

.../

- MONTEITH, H.N. and G.S. DONALD. 1962. A comparison of the use of liming materials on a hydrol humic latosol and a humic ferruginous latosol in Hawai. Inter. Soil Conference. New-Zealand.
- MORTLAND, M.M. and A.R. WOLCOTT. 1965. Soption of inorganic nitrogen compounds by soil materials. Pages 150-197. in W.V. Bartholomew and F.E. Clark, ed. Soil Nitrogen. Am. Soc. of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- MUKERJEE, H.N. 1962. Problems of soils of the paddy fields. Inter. Soil Conference. New-Zealand.
- NAD, B.K., N.N. GOSWAMI and C.R. LECLAVATHI. 1975. Some factors influencing the phosphorus fixing capacity of Indian soils. J. Indian Soc. Soil Sci. 23 : 319-327.
- NAIK, M.S. and N.B. DAS. 1964. Available sulphur status of indian Soils by the Aspergillus Niger method. J. Indian Soc. Sci. 12(3) : 151 - 155.
- NEARPASS, D.C. and F.E. CLARK. 1960. Availability of sulfur to rice plants in submerged and upland Soil . Soil Sci. Soc. Am., 24 : 385-387.
- NIANE, A. 1984. Etudes cartographiques et agro-pédologiques des sols de plateau de Basse - Casamance. Mémoire de confirmation ISRA Centre de Recherches Agricoles de Djibélor. Dec 1984.
- NIANE, A.B. 1985. Bilan de 15 années de recherches agropédologiques sur sols sulfatés-acides de Basse - Casamance (Sénégal). Communication présentée au IIIème symposium Inter. sur les sols sulfatés-acides. Dakar du 6-11 janvier 1986.

- NOGUCHI, Y.** 1954. The results of Research on the effect of potash on paddy rice in Japan. Rep. for the 5th meeting of the Inter. Comm. Working party on rice breeding, Tokyo, Jpn 4-9, 319.
- NOGUCHI, Y.** and **T. SUGAWARA.** 1952. Studies to the effect of potassium on the rice plant. Fac. of Agriculture. Univ. of Tokyo, Jpn. 54 pp.
- NOMMIK, H.** 1965. Ammonium fixation and other reactions involving a non enzymatic immobilisation of mineral nitrogen in soil. Pages 198-258 in W.V. Bartholomew and F.E. Clack, ed. Soil Nitrogen. Am. Soc. of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- OKUDA, A.** and **TAKAHASHI.** 1965. The role of silicon. Pages 123-146 in Inter. Rice Research Institute. The Mineral nutrition of the Rice Plant. Johns Hopkins Press, Baltimore, Maryland.
- OLOMU, M.O., G.J. RACZ** and **C.M. CHO.** 1972. Effect of flooding on the Eh, pH, and concentration of Fe and Mn in several Manitoba soils. Soil Sci. Soc. Am., Proc. 37 : 220-224.
- PASRICHA, N.S.** 1974. Influence of salinity and alkalinity on the mineral equilibria of submerged soils. A terminal report submitted to IRRI, Los Banos, Philippines.
- PASRICHA, N.S.** 1976. Exchange equilibria of ammonium in some paddy soils. Soil Sci. 121 : 267-271.
- PATNAIK, S.** and **F.E. BROADBENT.** 1967. Utilisation of tracer nitrogen by rice in relation to time of application. Agron. J. 59 : 287-288.

- PATRICK, W.H., Jr. and R. WYATT. 1964. Soil nitrogen loss as a result of alternate submergence and drying. Soil Sci. Soc. Am., Proc. 28 : 647-653.
- PATRICK, W.H., Jr. and D.S. MIKKELSEN. 1971. Plant nutrient behaviour in flooded soil. Pages 187-215. in Fertilizer technology and use. Soil Sci. Am., Inc. Wisc.
- PATRICK, W.H., Jr. and S. GOTOH. 1974. The role of oxygen in nitrogen loss from flooded soils. Soil Sci. 198 : 78-81.
- PATRICK, W.H., Jr. and K.R. REDDY. 1976. Fate of fertilizer nitrogen in flooded rice soil. Soil Sci. Soc. Am., Proc. 40 : 678-681.
- PAUL, H. and W.A. DELONG. 1949. Phosphorus studies. 1. Effects of flooding on soil phosphorus. Sci. Agric. 29 : 137-147.
- PHILIPPINES COUNCIL FOR AGRICULTURE and RESSOURCES RESEARCH (PCARR) 1976. The philippines recommends for rice 1977. 186 pp.
- PILLAI, P.B. and H.G. SINGH. 1974. Effect of sulphur in preventing the occurence of chlorosis in paddy seedlings. Agric. Res. J. Kerala 12 : 49-55.
- PONNAMPERUMA, F.N. 1958. Lime as a remedy for a physiological disease of rice associated with excess iron. Int. Rice Comm. Newsl. 7(1) : 10-13.
- PONNAMPERUMA, F.N. 1960. Fertilizer experiments in cultivators fields in Ceyland Trop. Agric. 116 : 253-267.
- PONNAMPERUMA, F.N. 1965. Dynamic aspects of flooded soils and the nutrition of the rice plant. Pages 295-298. in Inter. Rice Research Institute. The Mineral nutrition of the rice plant. Johns Hopkins Press, Baltimore, Maryland.

- PONNAMPERUMA, F.N., E. MARTINEZ and T.A. LOY. 1966. Influence of redox potential and partial pressure of carbone dioxyde on pH values and suspension effect of flooded soils. Soil Sci. 101 : 421-431.
- PONNAMPERUMA, F.N., E.M. TIANCO and T.A. LOY. 1967. Redox equilibria in flooded soils. 1. The iron hydroxide system. Soil Sci. 103 : 374-382.
- PONNAMPERUMA, F.N., T.A. LOY and E.M. TIANCO. 1969. Redox equilibria in flooded soils : II. The manganese oxide systems. Soil Sci. 108 : 48-57.
- PONNAMPERUMA, F.N. 1975. Understanding problem rice soils. Int. Rice Research Conference, April 21-24, 1975. IRRI, Los Banos, Philippines.
- RACHO, V.V. and S.K. DE DATTA. 1968. Nitrogen economy of cropped and uncropped flooded rice soils under field conditions. Soil Sci. 105 : 419-427.
- RAHMATULLAH, F., F. CHAUDHRY and A. RASHID. 1976. Micronutrients availability to cereals from calcareous soils. II. Effects of flooding on electrochemical properties of soils. Plant Soil 45 : 411-420.
- RASHID, A., F.M. CHAUDHRY and M. SHARIF. 1976. Micronutrients availability to cereals from calcareous soils. III. Zinc absorption by rice and its inhibition by important ions of submerged soils. Plant Soil 45 : 613-623.
- REDDY, K.R. and W.H. PATRICK, Jr. 1975. Effect of alternate aerobic and anaerobic conditions on redox potential, organic mater decomposition and nitrogen loss in flooded soil. Soil Biol. Biochem. 7 : 87-94.

- REDDY, K.R., W.H. PATRICK, Jr. and R.E. PHILLIPS. 1976. Ammonium diffusion as a factor in nitrogen loss from flooded soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 40 : 528-533.
- ROLSTON, D.E., M. FRIED and D.A. GOLDHAMER. 1976. Denitrification measured directly from nitrogen and nitrous oxide gas fluxes. Soil Sci. Soc. Am., Proc. 40 : 259-266.
- SANCHEZ, P.A., A. GAVIDIAO, G.E. RAMIREZ, R. VERGARA and F. MINGUILLO. 1973. Performance of sulfur-coated urea under intermittently flooded rice culture in Peru. Soil Sci. Soc. Am., Proc. 37 : 789-792.
- SARR, P.L. 1978. Evolution de la fertilité azotée d'un sol rouge de plateau de Casamance sous l'effet des systèmes de culture D.E.A. d'Agronomie Option pédologie (non publié).
- SAVANT, N.K., D.R. KENE and N.N. KIBE. 1970. Influence of alternate submergence and drying of rice soils prior to resubmergence on available phosphorus. Plant Soil 32 : 521-525.
- SAVANT, N.K. and R. ELLIS, Jr. 1964. Changes in the redox potential and phosphorus availability in submerged soils. Soil. Sci. 98 : 388-394.
- SHARMA, K.C., B.A. KRANTZ and A.L. BROWN. 1968. Interaction of Zn and P with soil temperatures in rice. Agron. J. 60 : 652-655.
- SHINDE, J.E. and S.P. CHAKRAVORTY. 1975. Nitrogen balance in flooded rice culture in relation to methods of application. Acta. Agron. 24 : 419-423.
- SINGHANIA, R.A. and N.N. GOSWAMI. 1977. Transformation of applied phosphorus under simulated conditions of growing rice

and wheat in a sequence. J. Indian Soc. Soil Sci. (unnumbered publication).

SINGHANIA, R.A. and R. SAMANIEGO. 1973. Effect of flooding and cropping on the changes in the inorganic phosphorus fractions in some rice soils. Plant Soil 39 : 351-359.

SRIVASTAVA, O.P. and A.N. PATNAIK. 1972. Fate of applied phosphorus in some soils of U.P. J. Indian Soc. Soil Sci. 20 : 103-109.

STANDFORD, G., K.A. VANDER POL and D. STANISLAW. 1975. Denitrification rates in relation to total and extractable soil carbone. Soil. Sci. Soc. Am., Proc. 39 : 284-289.

STEFANSON, R.C. 1972. Soil denitrification in sealed soil-plant systems. I. Effect of plants, soil water content and soil organic matter content. Plant Soil 33 : 113-127.

SUBRAMONEY, N. and E.P. NAMBIAR. 1969. Soil test response correlation studies in Kirala. J. Indian Soc. Soil Sci. 17 : 179-186.

SYLLA, M. 1983. Greenhouse reclamation of salt-affected soils of North Dakota. Unpublished M. Sc. Thesis NDSU soil Sci. Dpt. Fargo, ND, 58105. U.S.A.

TANAKA, A., R. LOE and S.A. NAVASERO. 1966. Some mechanisms involved in the development of iron toxicity symptoms in the rice plant. Soil Sci. Plant Nutr: 12 : 158-164.

TANAKA, A., R.P. MULLERIYAMA and T. YASU. 1968. Possibility of hydrogen sulfide induced iron toxicity of rice plant. Soil Sci. Plant Nutr. 14 (1) : 1-6.

- TANAKA, A.** and **S. YOSHIDA.** 1970. Nutritional disorders of the rice plant in Asia. Int. Rice res. Inst., tech. Bull. 10 : 51 pp.
- THENABADER, M.W.** 1969. The effect of slaked lime on rice yield at Panagoda, Pussellawa and Bombuwella. Trop. Agric. 125 : 111-118.
- TOBIAS, C.** 1965. Contribution à l'étude du passage des sols beiges aux sols rouges. ORSTOM ; 113 pp. multigr.
- TOURE, M.** 1976. Etude et amélioration des sols de rizières submergées. Rapport d'activité ISRA. Centre de Recherches Rizicole de Djibélor.
- TOURE, M.** et **G. ARIAL.** 1977. Chimie des sols submergés dans la zone fluviomarine de Casamance. I. Potentialités et contraintes des sols du Bief moyen. Conférence sur le riz en Afrique Abidjan 7-11 Mars 1977.
- TOURE, M.** 1980. Amélioration des sols sulfatés acides. Rôles de la chaux agricole, de la cendre de bois, de l'herbe verte et de la présubmersion. ISRA. Centre de Recherches Rizicole de Djibélor.
- TOURE, M.** 1984. Organisation, mechanisms of functioning and utilisation of Senegambia mangroves. Small-scale Swamp development in Senegal. Unnumbered publ. Direction des Recherches Agricoles et Agro-industries. Ministère de la Recherche Scientifique et Technique. Gvt Sénégal.
- TOURE, M.** et **A. NIANE.** 1980. Chimie des sols submergées de Casamance et rizicultivabilité. ISRA. Centre de Recherches Rizicole de Djibélor.

- TOURE, M. et A. NIANE. 1981.** Etude de l'évolution des propriétés physico-chimiques des sols submergés de bas-fond et de bordure de plateau continental de Djibélor (Basse Casamance) en relation avec le développement du riz. ISRA. Centre de Recherches Rizicole de Djibélor.
- TOURE, M. et M. KHOUMA. 1980.** Comparaison de quatre formes d'engrais azotés sur sol de rizière sableuse et acide de Casamance. ISRA. Centre de Recherches Rizicole de Djibélor.
- TYNER, E.H. and J.G. DAVIDE. 1962.** Some criteria for evaluating soil phosphorus tests for lowland rice soils. Soil Conference New-Zealand.
- VAN BREEMEN, N. 1969.** The effect of ill-defined ferric oxides on redox characteristics of flooded soils. Neth. J. Agr. Sci. 17 : 256-260.
- VAN BREEMEN, N. and F.R. MOORMANN. 1978.** Iron-toxic soils. Pages. 783-800. in Int.Rice Res. Int. ed. Soil and Rice, Los Banos Laguna, Philippines, P.O. BOX 933, Manilla, Philippines.
- VAN ROALTE, M.H. 1941.** On the oxygen supply of rice plants. Ann. Bot. Gardens Buitenzorg. 51 : 43-57.
- VIEILLEFON, J. 1974.** Contribution à l'étude de la pédogenèse dans le domaine fluvio-marin en climat tropical d'Afrique de l'Ouest, Thèse Paris, 362 p., annex.
- VIRMANI, S.S. 1976.** Breeding rice for tolerance to iron toxicity. WARDA Varietal Improvement Seminar, Sept. 13-17, 1976. Bouake, Ivory Coast.

- WANG, T.S.L. 1971. Effect of CaCO_3 , CaSiO_3 , and organic manure on the growth and yield of rice on flooded. acid latosolic soil. J. Indian Agric. Res. 20 : 47-55.
- WARING, S.A. and J.M. BREMNER. 1964. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability. Nature 201 : 951-952.
- WELLS, B.R. and P.A. SHOCKLEY. 1975. Conventional and controlled release nitrogen sources for rice. Soil Sci. Soc. Am., Proc. 39 : 549-551.
- YUAN, T.L., W.K. ROBERTSON and J.R. NELLER. 1960. Forms of newly fixed phosphorus in three acid Sandy Soils. Soil Sci. Soc. Am., Proc. 24 : 447-450.

A N N E X E S

Bulletin Analytique

Plateau Djibélor - Profondeur = 0.25 cm

N° chantillon	GRANULOMETRIE (%) μm					ANALYSES CHIMIQUES														
	< 2	2.20	20.50	50.200	200.2000	C P.100	M.O P.100	CE mmhos /cm 1/5	pH eau 1/2.5	pH Kcl 1/2.5	N P.1000	P _{tot} P.1000	Pass ppm	Kass ppm	Bases ECH meq/100 g				CEC meq/ 100g	Fe e et solu:
															Ca	Mg	Na	K		
R ₁ N ₁ -1	7.25	3.76	2.33	4.562	41.04	0.34	0.59	0.04	4.7	4.3	0.42	0.42	9.65	2.50	0.60	0.40	0.44	0.13	2.80	
R ₁ N ₁ -2	3.69	5.01	3.28	48.34	38.68	0.36	0.61	0.07	4.5	4.0	0.39	0.385	8.86	1.5	0.60	0.40	0.22	0.13	3.76	
R ₁ N ₁ -3	5.74	2.35	4.37	47.89	39.65	0.42	0.73	0.06	5.1	4.6	0.49	0.482	6.18	1.5	0.80	0.40	0.22	0.26	2.88	
R ₁ N ₁ -4	5.92	7.80	3.05	46.42	36.81	0.45	0.78	0.11	5.4	4.9	0.46	0.584	9.26	2.00	0.60	0.80	0.33	0.13	2.72	
R ₁ N ₁ -5	5.76	6.28	3.95	47.60	36.41	0.42	0.73	0.06	4.9	4.3	0.42	0.59	6.72	2.00	0.40	0.60	0.33	0.13	2.32	
R ₁ N ₃ -1	4.66	8.16	3.77	47.51	35.10	0.40	0.70	0.04	5.5	4.9	0.49	0.635	6.33	2.5	0.80	0.40	0.22	0.13	2.96	
R ₁ N ₃ -2	18.97	2.66	3.61	42.87	31.89	0.32	0.55	0.09	4.4	4.0	0.32	0.515	11.97	3.00	0.80	0.20	0.33	0.13	3.38	
R ₁ N ₃ -3	6.30	6.82	3.11	46.11	37.66	0.41	0.70	0.03	4.1	4.0	0.46	0.735	5.87	2.5	0.20	0.80	0.17	0.26	2.40	
R ₁ N ₃ -4	12.02	3.83	3.80	45.92	34.43	0.82	1.40	0.07	6.6	6.1	0.49	0.70	13.51	5.00	2.20	1.40	0.22	0.13	4.02	
R ₁ N ₃ -5	14.23	3.96	3.33	45.68	32.80	0.45	0.77	0.07	4.9	4.1	0.49	0.75	8.11	4.00	0.60	0.20	0.33	0.13	3.04	
R ₁ N ₀ -2	9.46	1.83	2.89	47.52	38.30	0.33	0.57	0.09	4.3	3.9	0.32	0.53	4.79	2.5	0.40	t ₂	0.17	t ₂	2.30	
R ₁ N ₀ -3	6.27	4.70	3.79	48.21	37.03	0.33	0.57	0.45	4.2	3.9	0.39	0.51	3.86	3.00	0.40	0.40	0.33	0.13	2.40	
R ₁ N ₀ -5	8.95	2.63	2.99	46.80	38.63	0.30	0.53	0.03	4.40	3.9	0.25	0.528	4.25	1.5	0.40	0.20	t ₂	0.13	2.24	
R ₂ N ₁ -3	8.43	2.63	3.73	47.15	38.06	0.39	0.67	0.02	4.7	4.0	0.32	0.61	4.63	2.00	0.20	0.60	0.11	t ₂	2.32	
R ₂ N ₁ -4	12.02	2.35	3.97	44.98	36.67	0.38	0.65	0.17	4.3	3.9	0.39	0.43	3.86	3.00	0.20	0.40	0.22	0.13	2.24	
R ₂ N ₁ -5	11.14	3.97	3.85	48.00	33.04	0.30	0.53	0.08	4.8	4.3	0.32	0.425	3.09	3.00	0.60	0.60	0.11	t ₂	2.64	
R ₂ N ₀ -4	6.79	3.40	7.59	44.06	38.16	0.58	1.00	0.11	4.5	4.0	0.39	0.36	4.01	3.50	0.20	0.60	0.11	0.13	2.32	
R ₂ N ₀ -5	7.06	4.18	4.25	46.48	38.03	0.40	0.63	0.43	4.1	3.9	0.39	0.296	4.17	4.00	0.60	0.40	0.33	0.26	2.24	

Bulletin Analytique

Plateau Djibélor

suite (1)

N° Chan- illon	GRANULOMETRIE (%) μm					ANALYSES CHIMIQUES														
	< 2	2.20	20.50	50.200	200. 2000	C P.100	M.O P.100	CE mmhos /cm 1/5	pH eau 1/25	pH Kcl 1/25	N P.1000	P _{tot} P.1000	Pass ppm	Kass ppm	Bases Ech meq/100g				CEC meq/ 100g	Fe ec et solu
															Ca	Mg	Na	K		
N2-4	4.76	4.54	3.86	44.25	35.58	0.57	0.99	0.51	5.4	4.9	0.49	0.445	3.40	5.50	0.80	1.00	0.44	0.42	2.72	
N2-5	6.57	3.41	4.50	48.97	36.51	0.44	0.75	0.07	5.4	4.6	0.42	0.45	3.86	4.00	0.80	0.40	0.17	0.18	2.88	
N3-4	9.41	6.99	4.94	42.55	36.10	0.59	1.00	0.32	5.4	5.0	0.39	0.79	5.79	6.50	0.80	0.60	0.33	t ₂	2.96	
N3-5	9.24	2.45	1.73	44.22	42.36	0.46	0.79	0.18	5.7	5.4	0.42	0.25	3.24	6.50	0.70	0.40	0.33	t ₂	3.04	
N3-3	9.10	5.08	2.52	43.70	39.60	0.39	0.68	0.05	4.8	4.1	0.46	0.275	5.02	4.00	0.80	0.60	t ₂	0.13	3.12	
N3-4	12.60	5.37	2.16	40.54	39.33	0.51	0.88	0.10	4.9	4.1	0.42	0.91	7.10	5.00	0.80	0.40	0.22	0.26	3.12	
N3-5	14.87	7.85	3.73	38.84	34.71	0.41	0.70	0.03	4.9	4.1	0.46	0.396	5.87	3.50	0.80	0.20	0.22	t ₂	3.28	
N1-3	10.45	3.23	2.10	45.00	39.22	0.46	0.80	0.03	4.7	3.9	0.32	0.315	7.33	2.00	0.60	0.40	0.11	0.13	2.48	
N1-5	9.54	3.19	2.18	46.61	38.48	0.33	0.58	0.80	4.5	4.1	0.35	0.26	5.71	3.00	0.20	0.80	0.55	t ₂	2.96	
N2-3	9.11	4.56	2.93	46.45	36.98	0.39	0.67	0.02	4.6	4.0	0.32	0.405	4.17	1.50	0.20	0.60	t ₂	t ₂	2.88	
N2-5	6.61	4.25	3.19	47.50	38.45	0.29	0.51	0.46	4.2	3.9	0.28	0.102	4.01	2.00	0.20	0.80	0.33	0.65	2.48	
N0-3	6.94	4.28	2.42	49.35	37.01	0.33	0.57	0.08	4.6	4.0	0.35	0.159	3.86	2.00	0.60	0.20	0.17	t ₂	2.32	
N0-5	5.52	3.97	2.70	45.94	41.87	0.29	0.51	0.08	4.8	4.1	0.32	0.22	4.09	2.00	0.80	0.60	0.17	t ₂	2.88	
N2-2	10.09	4.29	4.24	44.30	37.08	0.35	0.60	0.03	4.7	4.0	0.42	0.55	5.56	5.00	0.40	0.40	0.17	0.13	2.80	
N2-3	9.13	3.65	3.81	47.06	36.35	0.37	0.64	0.10	4.4	4.0	0.32	0.435	7.57	5.00	0.40	0.20	0.17	0.23	2.40	
N2-5	11.47	2.67	2.56	47.15	36.15	0.42	0.73	0.09	4.3	4.0	0.49	0.760	7.72	2.00	0.40	0.20	0.17	0.13	2.56	
(arith)	9.90	3.75	3.51	46.10	36.74	0.39	0.67	0.09	4.55	4.07	0.41	0.553	6.68	3.77	0.45	0.33	0.185	0.13	2.64	

Djibélor : Ancienne Station - E. Nappe (1985) (E₃ + E₅)

N° Echantil- lon	GRANULOMETRIE (%) μm					ANALYSES CHIMIQUES																
	< 2	2.20	20.50	50.200	200. 2000	C		CE	pH	pH	N	P _{tot}	Pass	Kass	Bases Ech. meq/100 g				CEC	Fe Ech. let solu- ble ppm	Al ppm	
						P.100	P.100								mmhos/ cm 1/5	eau 1/2.5	Kcl 1/2.5	P.1000				P.1000
R ₁ N ₁ -1	15.10	26.74	28.17	21.29	8.70	2.58	4.44	0.42	4.9	4.3	1.65	1.24	9.10	2.50	3.00	0.40	0.44	0.26	9.84	90	0	
R ₁ N ₁ -2						3.09	5.31	0.54	4.7	4.2	1.75	1.43	7.90	3.00	3.40	1.80	0.55	0.26	10.80			
R ₁ N ₁ -3						1.95	3.36	0.53	4.6	4.1	1.16	1.23	8.20	3.00	2.60	0.60	0.66	0.26	9.36			
R ₁ N ₁ -4	15.75	19.52	25.10	27.22	12.41	1.84	3.17	0.23	4.8	4.2	1.09	0.84	5.50	2.00	3.00	-	0.37	0.13	8.40	120	18	
R ₁ N ₁ -5						2.40	4.13	0.64	4.8	4.3	1.61	1.08	8.20	4.00	4.80	0.40	0.66	0.13	10.24			
R ₁ N ₃ -2	11.49	33.29	31.53	17.35	6.34	3.05	5.24	1.31	4.3	4.0	2.03	1.34	7.70	6.50	4.80	0.80	0.99	0.52	14.48	221	9	
R ₁ N ₃ -3	12.96	14.39	36.06	26.72	9.87	2.92	5.03	0.52	4.6	4.1	2.00	1.01	9.20	3.00	3.00	1.00	0.37	0.26	12.40	154	18	
R ₁ N ₃ -5						2.87	4.94	0.60	4.7	4.2	1.86	1.24	10.7	3.50	3.00	0.60	0.55	0.26	11.04			
R ₁ N ₂ -2						3.76	6.47	0.45	4.9	4.3	2.53	1.54	8.70	5.50	4.00	0.40	0.77	0.52	14.48			
R ₁ N ₂ -3						3.83	6.59	0.74	4.7	4.2	2.35	1.89	13.8	6.00	4.20	1.40	0.55	0.52	16.00			
R ₁ N ₂ -5						3.47	5.96	0.80	4.6	4.1	2.59	1.67	10.6	5.50	4.00	1.20	0.66	0.52	14.96			
R ₁ N ₀ -2	12.76	35.69	28.99	16.30	6.26	3.44	5.91	0.84	4.7	4.2	2.56	1.35	7.40	6.50	2.80	1.20	0.66	0.65	14.24	170	18	
R ₁ N ₀ -3	17.47	33.29	25.28	13.45	10.51	3.46	5.95	0.21	4.5	4.0	2.73	1.10	6.80	3.00	2.00	1.80	0.33	0.52	15.60	146	27	
R ₁ N ₀ -5						3.20	5.51	0.58	4.8	4.2	2.56	1.20	6.90	5.50	3.20	1.40	0.44	0.65	10.96			
R ₂ N ₃ -1						1.41	2.43	0.35	4.7	4.1	1.33	0.99	17.2	4.00	2.40	0.40	0.99	0.52	9.84			
R ₂ N ₃ -2						1.84	3.16	0.60	4.8	4.1	1.51	1.47	17.6	3.50	1.80	0.40	0.44	0.26	10.40			
R ₂ N ₃ -3						1.35	2.32	0.11	4.8	4.1	1.23	0.84	14.2	2.00	1.00	1.80	0.33	0.13	9.92			
R ₂ N ₃ -4	9.47	11.24	20.57	37.28	21.44	1.21	2.08	0.39	4.8	4.2	1.40	0.88	12.1	2.50	1.00	1.40	0.44	0.13	9.44	93	0	
R ₂ N ₃ -5						1.49	2.57	0.05	5.3	4.8	1.23	0.91	15.5	1.00	1.40	2.40	0.33	0.26	10.16			

Bulletin Analytique - Pédologie

Djibélor : Ancienne Station : E. Nappe (1985) suite 1.b

N° Echantillon	GRANULOMETRIE (%) μm					ANALYSES CHIMIQUES															
	< 2	2.20	20.50	50.200	200. 2000	C P.100	M.O P.100	CE mmhos/ cm 1/5	pH eau 1/2.5	pH Kcl 1/2.5	N P.1000	P _{tot} P.1000	Pass ppm	Kass ppm	Bases Ech. meq/100 g				CEC meq/ 100 g	Fe Ech. et so luble ppm	Al ppm
															Ca	Mg	Na	K			
R ₂ N ₂ -2						2.55	4.39	0.15	4.9	4.2	1.68	1.24	20.1	2.50	1.40	0.80	0.33	0.26	10.48		
R ₂ N ₂ -3	10.89	19.26	5.65	42.37	21.83	1.80	3.09	0.10	5.0	4.1	1.30	0.80	18.3	2.00	1.20	1.40	0.55	0.13	9.84	130	0
R ₂ N ₂ -5						1.63	2.81	0.12	5.0	4.1	1.19	0.99	22.8	2.50	1.00	1.40	0.33	0.26	8.88		
R ₂ N ₀ -2						2.57	4.42	0.47	4.7	4.1	1.96	1.26	11.0	3.50	2.00	0.60	0.33	0.52	11.04		
R ₂ N ₀ -3						1.84	3.17	0.12	4.6	4.1	1.54	0.80	8.90	2.00	1.20	0.60	0.37	0.26	8.72		
R ₂ N ₀ -5						2.13	3.66	0.61	4.7	4.2	1.65	1.04	17.4	4.00	1.40	1.00	0.55	0.52	9.84		
R ₂ N ₁ -2						3.02	5.19	0.36	4.5	4.0	1.93	0.96	7.60	2.50	2.80	1.60	0.33	0.26	13.88		
R ₂ N ₁ -3	7.17	33.92	7.33	33.06	18.52	2.97	5.11	0.66	4.5	4.1	1.96	0.85	4.90	3.50	2.80	1.00	0.77	0.52	10.64	84	27
R ₂ N ₁ -5						3.03	5.22	0.76	4.7	4.2	2.07	0.89	7.90	4.00	2.00	1.50	0.99	0.52	10.80		
R ₃ N ₃ -1						1.12	1.92	0.21	5.1	4.3	1.02	0.80	18.8	3.00	1.20	2.20	0.77	0.26	9.04		
R ₃ N ₃ -2						1.19	2.05	0.28	4.7	4.1	1.05	0.82	18.0	3.00	1.20	1.00	0.66	0.52	8.40		
R ₃ N ₃ -3						0.98	1.68	0.45	5.0	4.9	0.95	0.81	15.0	1.00	1.00	0.80	0.37	0.26	8.08		
R ₃ N ₃ -4	7.07	6.56	6.66	48.33	31.38	0.83	1.43	0.07	5.1	4.8	0.95	0.88	13.3	1.00	1.20	1.40	0.37	0.13	7.84	82	0
R ₃ N ₃ -5						1.05	1.80	0.25	4.9	4.2	0.88	0.88	18.3	2.00	1.20	1.00	0.55	0.13	8.32		
R ₃ N ₁ -2						1.29	2.22	0.71	4.5	4.0	1.02	0.96	14.6	3.50	1.20	1.20	0.77	0.26	8.40		
R ₃ N ₁ -3	6.07	9.43	5.71	52.11	26.68	1.01	1.73	0.35	5.5	4.8	0.84	0.68	13.6	1.00	1.00	2.00	0.33	0.13	8.08	174	18
R ₃ N ₁ -5						1.14	1.96	0.27	4.4	3.9	1.02	0.96	22.3	2.00	1.20	1.20	0.37	0.13	8.00		
R ₃ N ₂ -2						1.59	2.74	0.24	4.8	4.1	1.09	0.94	19.1	2.00	1.20	2.00	0.55	0.26	8.16		
R ₃ N ₂ -3						1.13	1.94	0.07	4.9	4.1	0.95	0.85	11.8	1.00	1.20	2.00	0.37	0.26	7.76		

Bulletin Analytique - Pédologie

Djibélor : Ancienne Station : E. Nappe (1985) suite 1.b

N° Echantil- lon	GRANULOMETRIE (%) μm					ANALYSES CHIMIQUES															
	< 2	2.20	20.50	50.200	200. 2000	C P.100	M.O P.100	CE mmhos/ cm 1/5	pH eau 1/2.5	pH Kcl 1/2.5	N P.1000	P _{tot} P.1000	Pass ppm	Kass ppm	Bases Ech. meq/100 g				CEC meq/ 100 g	Fe Ech. et solu- ble ppm	Al ppm
															Ca	Mg	Na	K			
R ₃ N ₂ -5						1.15	1.98	0.10	4.9	4.0	1.09	0.64	15.2	1.00	1.20	0.60	0.77	0.26	8.08		
R ₃ N ₀ -2						2.40	4.13	0.42	4.6	4.1	1.58	0.64	7.00	3.00	1.60	0.60	0.44	0.52	8.16		
R ₃ N ₀ -3	5.30	9.08	7.10	50.18	28.34	1.59	2.74	0.11	4.8	4.1	1.30	0.82	7.20	2.00	1.20	1.80	0.33	0.26	7.76	146	45
R ₃ N ₀ -5						1.61	2.77	0.44	4.6	4.0	1.23	0.81	9.40	3.00	1.20	1.80	0.66	0.52	8.32		
\bar{x}	10.96	21.03	19.01	32.14	16.86	2.11	3.63	0.41	4.78	4.20	1.56	1.04	11.99	3.25	2.09	1.19	0.53	0.33	10.26	134	15

.../

Djibélor : Ancienne Station - Cycle moyen (1985) (P11e Ay3)

N° Echantil- lon	GRANULOMETRIE (%) μm					ANALYSES CHIMIQUES															
	< 2	2.20	20.50	50.200	200. 2000	C P.100	M.O P.100	CE mmhos/ cm 1/5	pH eau 1/2.5	pH Kc1 1/2.5	N P.1000	P _{tot} P.1000	Pass ppm	Kass ppm	Bases Ech. meq/100 g				CEC meq/ 100 g	Fe Ech Ech. et soluble ppm	Al ppm
															Ca	Mg	Na	K			
R ₁ N ₁ -1	35.15	32.70	2.02	19.00	11.13	1.97	3.39	0.52	4.9	3.9	1.72	0.66	4.50	4.00	2.60	0.80	0.35	0.26	14.40	85	18
R ₁ N ₁ -2						2.80	4.82	0.51	4.1	3.9	2.10	0.92	2.20	3.50	1.60	1.40	0.22	0.26	13.84		
R ₁ N ₁ -3	25.73	46.30	2.58	16.67	8.72	3.33	5.72	1.74	4.2	3.9	2.49	1.03	1.90	4.00	2.40	1.20	0.22	0.26	16.40	133	27
R ₁ N ₁ -4						2.92	5.02	0.57	4.3	4.0	2.20	1.06	3.90	5.00	2.40	0.80	0.22	0.26	14.88		
R ₁ N ₁ -5						2.51	4.31	0.26	4.1	3.8	1.85	0.78	4.00	4.00	1.60	1.00	0.22	0.13	15.36		
R ₁ N ₂ -2	40.33	49.65	0.77	3.69	5.56	2.08	3.58	0.25	4.2	3.7	1.75	0.65	0.80	3.50	1.20	1.60	0.99	0.13	13.76	130	36
R ₁ N ₂ -3						2.22	3.82	0.34	4.0	3.6	1.82	0.95	1.30	3.50	2.00	1.20	0.33	0.13	15.68		
R ₁ N ₂ -5						2.44	4.20	0.31	4.0	3.6	1.96	0.87	0.70	3.50	1.40	1.20	0.55	0.13	15.12		
R ₁ N ₃ -3						2.14	3.68	0.51	3.8	3.5	2.24	0.79	1.00	5.50	1.80	1.40	0.66	0.52	15.76		
R ₁ N ₃ -4	23.06	26.44	2.58	31.04	16.88	2.25	3.87	0.53	3.8	3.6	2.17	0.87	1.40	3.00	1.80	1.40	0.44	0.26	14.80	129	27
R ₁ N ₃ -5						2.95	5.07	0.57	3.8	3.5	2.35	1.07	0.80	4.00	2.40	0.80	0.66	0.52	17.92		
R ₁ N ₀ -3	34.04	41.07	2.28	15.16	7.45	2.51	4.32	0.52	3.9	3.6	1.96	0.89	0.70	3.50	2.20	1.00	0.44	0.13	15.04	93	36
R ₁ N ₀ -5						2.47	4.25	0.62	3.7	3.4	1.92	0.84	0.30	4.00	2.00	1.20	0.44	0.26	14.32		
R ₂ N ₃ -1						2.53	4.36	0.67	4.1	3.7	2.14	0.87	0.30	4.00	1.80	1.60	0.66	0.52	15.92		
R ₂ N ₃ -2						2.77	4.76	0.33	4.0	3.6	2.17	0.96	0.90	3.00	2.20	1.20	0.33	0.26	17.04		
R ₂ N ₃ -3	32.85	46.93	0.94	11.29	7.99	2.78	4.79	0.31	4.1	3.6	2.14	0.89	4.30	3.50	2.40	1.00	0.33	0.26	17.60	81	27
R ₂ N ₃ -4						2.11	3.63	0.41	3.9	3.6	1.85	0.86	0.20	2.00	1.60	1.00	0.33	0.52	14.00		
R ₂ N ₃ -5						2.78	4.79	0.46	4.0	3.6	1.99	0.74	0.80	2.00	2.00	1.20	0.33	0.13	17.28		

Bulletin Analytique - Pédologie

Djibélor : Ancienne Station - Cycle moyen (1985) suite 1.c

N° Echantil- Lon	GRANULOMETRIE (%) μm					ANALYSES CHIMIQUES															
	< 2	2.20	20.50	50.200	200. 2000	C P.100	M.O P.100	CE mmhos/ cm 1/5	pH eau 1/2.5	pH Kc1 1/2.5	N P.1000	P _{Tot} P.1000	Pass ppm	Kass ppm	Bases Ech. meq/100 g				CEC meq/ 100 g	Fe Ech. et so- luble ppm	Al ppm
															Ca	Mg	Na	K			
R ₂ N ₀ -2	29.25	36.15	14.33	13.87	6.40	2.91	5.00	0.29	3.9	3.5	2.03	0.78	1.90	2.00	1.60	1.00	0.22	0.13	19.28	152	36
R ₂ N ₀ -3						2.25	3.87	0.22	3.9	3.6	1.85	1.02	0.50	2.00	1.40	1.40	0.22	0.26	16.88		
R ₂ N ₀ -5						2.92	5.02	0.32	3.5	3.4	1.96	0.99	0.40	2.00	1.60	1.00	0.22	0.52	17.36		
R ₂ N ₂ -3						2.99	5.14	1.79	3.8	3.5	2.38	1.15	1.00	2.50	2.80	1.40	0.22	0.13	18.48		
R ₂ N ₂ -4						2.15	3.70	0.36	3.9	3.5	1.92	1.35	1.00	2.00	1.60	1.00	0.22	0.26	13.60		
R ₂ N ₂ -5						2.15	3.70	0.44	3.9	3.6	1.85	0.88	0.80	3.00	1.60	1.20	0.33	0.26	13.52		
R ₂ N ₁ -3	39.42	29.58	15.10	11.51	4.39	2.76	4.74	0.54	3.6	3.4	2.20	0.75	0.50	5.50	1.40	1.20	0.66	0.65	17.52	115	45
R ₂ N ₁ -5						2.55	4.39	0.38	3.9	3.4	2.35	1.13	1.00	2.50	2.00	1.40	0.44	0.52	17.28		
R ₃ N ₃ -1						3.16	5.43	0.92	3.6	3.4	2.55	1.14	0.30	4.00	2.40	1.40	0.55	0.52	19.44		
R ₃ N ₃ -2						3.20	5.50	0.32	4.0	3.6	2.24	1.13	1.20	2.50	2.00	1.40	0.44	0.52	20.64		
R ₃ N ₃ -3	41.91	32.44	10.96	9.67	5.02	3.03	5.21	0.49	3.8	3.4	2.20	1.21	0.30	2.50	2.20	1.80	0.44	0.26	20.72	145	36
R ₃ N ₃ -4						2.76	4.74	0.69	3.6	3.3	2.35	1.33	2.50	2.50	2.60	0.40	0.33	0.52	18.48		
R ₃ N ₃ -5						2.66	4.57	0.37	3.9	3.5	2.06	0.89	1.60	2.50	2.00	1.60	1.33	0.65	18.32		
R ₃ N ₂ -2	35.32	32.11	11.77	10.23	10.57	2.83	4.86	1.02	3.9	3.5	2.28	1.24	0.50	5.00	2.00	1.40	0.66	0.65	19.12	94	36
R ₃ N ₂ -3						2.65	4.55	0.53	3.9	3.5	2.24	1.05	1.50	3.00	2.20	1.20	0.44	0.52	18.96		
R ₃ N ₂ -5						2.83	4.86	0.20	4.0	3.5	2.35	1.12	1.50	2.00	1.80	1.80	0.33	0.26	18.80		
R ₃ N ₁ -3						3.10	5.34	0.38	3.8	3.5	2.41	1.15	1.80	2.00	2.20	1.60	0.33	0.52	19.52		
R ₃ N ₁ -4						3.06	5.27	0.65	3.9	3.6	2.35	1.58	3.40	2.50	2.60	0.20	0.22	0.52	20.16		
R ₃ N ₁ -5						2.76	4.74	0.20	3.8	3.4	2.45	1.15	0.40	2.00	1.40	2.00	0.22	0.52	19.04		

Bulletin Analytique - Pédologie

Djibélor : Ancienne Station - Cycle moyen (1985) suite 1.c

N° Echantil- lon	GRANULOMETRIE(%) μ m					ANALYSES CHIMIQUES															
	< 2	2.20	20.50	50.200	200.	C P.100	M.O P.100	CE mmhos/ cm 1/5	pH eau 1/2.5	pH Kcl 1/2.5	N P.1000	P _{tot} P.1000	Pass ppm	Kass ppm	Bases Ech. meq/100 g				CEC meq/100 g	Fe Ech. et solu bl ppm	Al ppm
															Ca	Mg	na	K			
R ₃ N ₀ -3	38.52	29.13	13.73	13.08	5.54	2.70	4.65	0.52	3.8	3.4	2.31	1.26	0.80	2.52	2.00	1.40	0.30	0.13	18.24	140	45
R ₃ N ₀ -5						2.81	4.84	0.84	3.8	3.4	2.35	0.96	0.50	4.00	1.80	1.20	0.44	0.26	18.80		
Moyenne Arithmétique	34.14	36.60	7.00	14.11	8.15	2.66	4.58	0.42	3.9	3.6	2.14	1.00	1.37	3.18	1.96	1.23	0.39	0.35	17.01	118	33

.../

Djibélor : Ancienne Station - Rizière Profonde (1985) (pas de dénomination sur la carte actuelle de la Station de Djibélor)

N° Echantil- lon	GRANULOMETRIE (%) μm					ANALYSES CHIMIQUES															
	< 2	2.20	20.50	50.200	200. 2000	C P.100	M.O P.100	CE mmhos/ cm 1/5	pH eau 1/2.5	pH Kc1 1/2.5	N P.1000	P _{tot} P.1000	Pass ppm	Kass ppm	Bases Ech. meq/100 g				CEC meq/ 100 g	Fe Ech. et solu ble ppm	Al ppm
															Ca	Mg	Na	K			
R ₁ N ₂ -1	9.60	46.75	2.26	27.95	13.44	3.06	5.27	0.52	4.1	4.0	2.31	1.05	1.30	3.00	0.80	1.00	0.33	0.26	9.52	133	27
R ₁ N ₂ -2						3.76	6.47	1.30	4.3	4.0	3.01	1.55	1.00	6.00	1.20	0.80	0.88	0.52	12.40		
R ₁ N ₂ -3	17.33	53.75	2.90	16.35	9.67	3.89	6.69	0.61	4.3	4.0	2.90	1.58	1.70	4.00	1.40	0.80	0.33	0.52	14.32	109	27
R ₁ N ₂ -4						3.68	6.33	0.92	4.4	4.1	2.84	1.36	2.60	5.50	1.40	0.80	0.99	0.13	12.64		
R ₁ N ₂ -5						3.92	6.74	0.97	4.3	4.0	3.25	1.80	1.70	8.00	1.40	0.80	0.99	0.13	12.88		
R ₁ N ₀ -2	40.50	34.80	0.57	15.87	8.26	3.17	5.46	0.42	4.1	3.7	2.58	0.83	3.20	5.50	1.40	0.40	0.22	0.13	12.48	102	36
R ₁ N ₀ -3						3.93	6.76	0.59	4.1	3.8	3.25	2.26	2.30	6.00	1.60	0.80	0.44	0.26	14.24		
R ₁ N ₀ -5						3.90	6.72	0.62	4.3	4.0	3.01	1.78	2.10	6.00	2.00	0.60	0.33	0.26	14.56		
R ₁ N ₁ -3						3.77	6.49	0.63	3.8	3.6	2.66	1.39	0.90	6.50	1.60	0.40	0.33	0.52	15.12		
R ₁ N ₁ -4	25.59	52.43	0.76	14.15	7.07	3.97	6.79	0.36	4.0	3.8	3.43	0.65	1.80	5.00	1.80	0.40	0.11	0.26	13.52	86	36
R ₁ N ₁ -5						3.49	6.01	0.75	4.4	4.1	2.87	1.86	1.90	7.50	1.00	0.60	0.99	0.65	15.12		
R ₁ N ₃ -3	47.95	38.77	0.42	7.70	5.16	2.77	4.77	0.46	4.1	3.7	1.68	1.03	0.40	6.00	1.20	0.80	0.55	0.26	14.32	158	36
R ₁ N ₃ -5						3.24	5.57	0.45	4.0	3.8	2.03	1.20	0.20	5.00	1.40	0.40	0.55	0.52	12.08		
R ₂ N ₀ -2						2.65	4.56	0.60	4.0	3.8	1.65	0.78	1.80	6.00	1.00	0.80	0.77	0.65	10.00		
R ₂ N ₀ -3	25.23	52.67	1.05	14.04	7.01	3.93	6.76	0.28	3.9	3.7	3.11	1.49	1.70	4.00	1.60	0.20	0.33	0.52	14.04	120	36
R ₂ N ₀ -5						3.44	5.92	0.37	4.1	3.8	1.99	0.83	3.70	1.00	1.60	0.20	0.22	0.52	13.12		
R ₂ N ₁ -2	16.20	22.74	3.04	37.69	20.33	2.67	4.59	0.25	3.9	3.8	1.82	0.83	1.00	1.00	0.80	0.60	0.22	0.13	12.08	127	35
R ₂ N ₁ -3						3.87	6.65	0.50	4.0	3.7	2.55	1.60	2.00	2.00	1.80	0.60	0.33	0.13	14.32		

Bulletin Analytique - Pédologie

Djibélor : Ancienne Station - Rizière Profonde (1985) suite 1.d

N° Echantil- lon	GRANULOMETRIE (%) μm					ANALYSES CHIMIQUES															
	< 2	2.20	20.50	50.200	200. 2000	C P.100	M.O P.100	CE mmhos/ cm 1/5	pH eau 1/2.5	pH Kcl 1/2.5	N P.1000	P _{tot} P.1000	Pass ppm	Kass ppm	Bases Ech. meq/100 g				CEC meq/100 g	Fe Ech. et solu ble ppm	Al ppm
															Ca	Mg	Na	K			
R ₂ N ₁ -5						3.23	5.55	0.59	3.8	3.7	2.14	1.57	7.50	2.00	1.80	0.60	0.33	0.13	12.96		
R ₂ N ₃ -3						3.95	6.79	1.40	3.9	3.7	3.29	1.70	0.80	6.00	1.60	1.00	1.10	0.52	14.24		
R ₂ N ₃ -5						3.35	5.76	0.23	4.1	3.7	2.14	1.03	3.70	2.50	2.40	-	0.33	0.26	14.48		
R ₂ N ₂ -3	33.26	43.52	0.96	12.04	10.22	3.15	5.41	0.21	4.0	3.7	1.82	1.61	2.90	6.00	1.20	2.00	0.59	0.52	14.16	90	27
R ₂ N ₂ -5						3.08	5.30	0.24	3.9	3.7	1.92	1.10	2.00	8.00	1.60	0.80	1.54	0.65	13.36		
R ₃ N ₂ -2						3.87	6.65	0.18	4.0	3.8	2.77	1.65	1.80	3.50	1.20	0.80	0.33	0.26	13.44		
R ₃ N ₂ -3	18.00	19.58	7.19	35.54	19.69	2.05	3.53	0.15	4.1	3.8	1.79	0.47	2.10	3.00	1.00	0.80	0.22	0.52	12.08	109	18
R ₃ N ₂ -5	15.13	32.65	2.69	33.85	15.68	3.16	5.43	0.20	4.1	3.9	2.24	1.03	2.40	5.00	1.00	0.80	0.44	0.52	13.04	170	27
R ₃ N ₀ -2	23.59	56.66	1.47	14.23	4.05	2.48	4.27	0.18	4.2	3.9	2.06	0.85	2.20	5.50	1.80	0.40	0.44	0.52	15.28	110	18
R ₃ N ₀ -3						3.96	6.81	0.18	4.0	3.8	3.29	1.73	3.60	3.50	1.80	0.20	0.22	0.52	12.80		
R ₃ N ₀ -5						2.70	6.37	0.18	4.0	3.9	1.99	1.45	4.60	3.50	2.20	0.40	0.22	0.52	12.48		
R ₃ N ₃ -3						3.64	6.26	0.15	4.2	3.8	1.92	2.00	1.00	6.50	2.00	0.60	0.55	0.52	14.64		
R ₃ N ₃ -5						3.32	5.71	0.22	4.0	3.8	2.77	0.90	0.70	5.00	1.80	0.80	1.10	0.52	13.36		
R ₃ N ₁ -3						3.96	6.81	0.20	3.7	3.6	3.15	1.50	1.30	3.50	1.60	0.40	0.33	0.26	14.80		
R ₃ N ₁ -5						3.93	6.76	0.19	4.0	3.8	2.35	1.36	0.70	3.50	1.60	1.00	0.44	0.52	15.28		
\bar{x}	24.76	41.30	2.12	20.86	10.96	3.46	5.94	0.43	4.0	3.8	2.50	1.33	2.08	4.70	1.50	0.63	0.52	0.40	13.43	120	29

Katouré : Nappe N. P. K. (1985)

N° Echantillon	GRANULOMETRIE (%) μm					ANALYSES CHIMIQUES															
	< 2	2.20	20.50	50.200	200.2000	C P.100	M.O P.100	CE mmhos/ cm 1/5	pH eau 1/2.5	pH KCl 1/2.5	N P.1000	P _{tot} P.1000	Pass ppm	Kass ppm	Bases Ech. meq/100 g				CEC meq/ 100 g	Fe Ech. et solu- ble ppm	Al ppm
															Ca	Mg	Na	K			
R ₁ A ₃ -1						1.84	3.17	0.23	4.00	3.86	1.19	0.52	3.00	3.50	1.20	0.60	0.15	0.13	15.52	78	
R ₁ A ₃ -2						2.07	3.56	0.10	4.05	3.83	1.40	0.71	3.20	3.00	0.80	0.20	0.66	0.13	19.28	52	
R ₁ A ₃ -3						2.40	4.14	0.17	4.21	3.88	1.37	0.81	1.60	2.50	1.20	0.20	0.65	0.13	21.44	40	
R ₁ A ₃ -4						1.90	3.27	0.08	4.34	3.85	1.30	0.56	0.10	2.00	1.00	0.20	0.66	0.13	17.12	45	
R ₁ A ₃ -5	34.31	38.56	0.28	21.79	5.06	2.14	3.68	0.11	4.36	3.94	1.40	0.59	0.30	3.50	0.60	0.20	0.44	0.26	17.76	36	
R ₁ A ₂ -3						1.97	3.28	0.05	4.49	3.82	1.44	0.85	0.10	3.00	0.60	0.60	0.46	0.13	22.32	88	
R ₁ A ₂ -4						1.98	3.40	0.04	4.51	3.79	1.47	0.53	0.10	3.50	0.60	0.60	0.46	0.13	19.84	89	
R ₁ A ₂ -5	29.88	57.40	0.35	9.38	2.99	2.20	3.80	0.04	4.60	3.88	1.58	0.70	0.40	5.00	0.40	1.00	0.33	0.13	23.04	53	
R ₁ A ₀ -3						1.85	3.18	0.04	4.77	3.94	1.50	0.77	0.40	4.00	0.40	1.00	0.55	0.13	18.00	26	
R ₁ A ₀ -4						1.45	2.50	0.04	4.63	3.83	1.44	0.70	0.70	3.50	0.40	1.00	0.40	0.13	21.28	23	
R ₁ A ₀ -5	41.09	39.11	0.40	14.65	4.75	2.13	3.66	0.11	4.58	3.90	1.61	0.81	1.00	4.00	0.40	1.00	0.66	0.13	21.08	65	
R ₁ A ₁ -3						1.74	2.99	0.05	4.78	3.88	1.65	0.39	1.90	2.00	0.60	1.00	0.33	0.26	23.44	25	
R ₁ A ₁ -4						1.40	2.40	0.07	4.80	3.83	1.22	0.48	0.90	2.00	0.80	0.60	0.44	0.26	18.88	64	
R ₁ A ₁ -5	53.83	13.25	0.47	23.80	8.65	1.65	2.85	0.04	4.48	3.86	1.33	0.67	1.10	2.50	0.60	1.20	0.46	0.26	18.48	38	
R ₂ A ₃ -2						2.15	3.70	0.16	4.32	3.81	1.40	0.68	3.40	3.00	0.80	0.60	0.40	0.26	19.12	73	
R ₂ A ₃ -3						1.92	3.30	0.04	4.68	3.82	1.37	0.62	2.40	3.50	1.00	0.40	0.33	0.13	19.04	23	
R ₂ A ₃ -5	50.05	32.38	0.32	13.41	3.84	2.15	3.70	0.05	4.43	3.78	1.33	0.86	2.00	3.50	0.60	0.60	0.33	0.13	19.52	39	
R ₂ A ₀ -3						1.85	3.18	0.06	4.43	3.76	1.37	0.79	3.10	3.00	1.20	1.40	0.46	0.13	22.00	60	
R ₂ A ₀ -5	54.31	33.31	0.16	8.48	3.32	1.92	3.30	0.01	4.49	3.80	1.44	0.71	1.40	2.00	0.60	1.60	0.66	0.13	21.28	34	
R ₂ A ₁ -3						1.70	2.92	0.08	4.48	3.82	1.16	0.60	1.40	2.50	0.60	1.80	0.40	0.13	18.64	91	
R ₂ A ₁ -5	56.48	26.56	0.30	10.02	6.64	1.75	3.02	0.04	4.78	3.81	1.80	0.45	3.00	2.00	1.00	1.80	0.46	0.13	19.28	42	
R ₂ A ₂ -3						2.40	4.13	0.05	4.63	3.78	1.54	0.57	2.20	1.50	0.80	1.40	0.33	0.26	23.36	34	
R ₂ A ₂ -5	44.76	38.26	0.10	13.02	3.86	1.90	3.27	0.05	4.61	3.75	1.40	0.64	1.20	3.00	2.00	1.20	0.37	0.13	21.84	36	

Bulletin Analytique - Pédologie

Katouré : Nappe N. P. K. (1985) suite 1.e

N° Echantil- lon	GRANULOMETRIE (%) μm					ANALYSES CHIMIQUES															
	< 2	2.20	20.50	50.200	200. 2000	C P.100	M.O P.100	CE mmhos/ cm 1/5	pH eau 1/2.5	pH Kc1 1/2.5	N P.1000	P _{tot} P.1000	Pass ppm	Kass ppm	Bases Ech. meq/100 g				CEC meq/ 100 g	Fe Ech. et solu ble ppm	Al ppm
															Ca	Mg	Na	K			
R ₃ A ₁ -2						1.38	2.37	0.08	4.28	3.80	1.30	0.41	1.70	3.50	3.00	2.00	0.40	0.13	15.12	131	
R ₃ A ₁ -5	54.37	25.62	0.26	14.40	5.35	1.60	2.75	0.09	4.38	3.73	1.22	0.55	1.00	3.50	0.60	2.00	0.66	0.13	20.24	120	
R ₃ A ₃ -3						1.61	2.77	0.06	4.53	3.67	1.33	0.59	0.70	3.00	0.60	2.00	0.46	0.13	23.44	119	
R ₃ A ₃ -5	53.83	35.52	0.10	7.66	2.89	1.89	3.25	0.04	4.55	3.74	1.44	0.52	0.70	2.50	0.60	1.60	0.40	0.13	22.80	117	
R ₃ A ₂ -3						1.47	2.53	0.04	4.79	3.82	1.30	0.49	0.80	2.00	0.80	1.00	0.40	0.13	16.24	55	
R ₃ A ₂ -5	42.45	27.53	0.28	21.40	8.34	2.15	3.70	0.05	4.71	3.78	1.44	0.59	1.00	1.50	0.80	1.00	0.46	0.13	19.52	64	
R ₃ A ₀ -3						1.99	3.43	0.04	4.66	3.71	1.47	0.81	1.20	2.00	0.80	2.20	0.46	0.13	23.68	46	
R ₃ A ₀ -5	45.49	37.18	0.21	12.76	4.36	1.90	3.26	0.05	4.69	3.77	1.30	0.66	0.60	2.00	1.20	1.80	0.40	0.26	21.28	57	
R ₄ A ₁ -1						1.65	2.83	0.21	4.13	3.83	1.16	0.61	4.70	1.50	0.80	2.80	0.40	0.30	14.40	118	
R ₄ A ₁ -2						1.79	3.07	0.05	4.34	3.80	1.19	0.49	1.80	1.50	0.40	1.80	0.46	0.13	15.76	215	
R ₄ A ₁ -5	27.35	39.78	0.96	24.63	7.28	2.06	3.54	0.06	4.44	3.76	1.37	0.48	1.30	3.00	0.40	2.40	0.40	0.26	16.72	146	
R ₄ A ₂ -2						1.89	3.24	0.05	4.63	3.82	1.22	0.33	2.70	3.50	1.20	1.80	0.44	0.13	17.04	61	
R ₄ A ₂ -5	33.00	40.64	0.51	20.63	5.25	1.98	3.40	0.05	4.22	3.77	1.30	0.56	2.30	2.50	0.60	2.00	0.33	0.26	16.96	72	
R ₄ A ₀ -2						1.59	2.74	0.06	4.49	3.78	1.40	0.49	1.80	2.00	0.60	2.60	0.46	0.13	14.32	76	
R ₄ A ₀ -5	42.68	27.48	0.40	21.27	8.17	1.28	2.20	0.04	4.64	3.80	1.30	0.55	2.30	2.50	0.80	1.40	0.33	0.26	14.16	86	
R ₄ A ₃ -2						1.16	1.99	0.03	4.96	3.88	1.22	0.48	0.70	3.00	0.80	1.60	0.40	0.13	14.40	94	
R ₄ A ₃ -3						1.62	2.79	0.04	4.65	3.68	1.33	0.62	1.80	3.50	1.00	1.20	0.40	0.26	23.76	95	
R ₄ A ₃ -5	38.84	35.93	0.64	19.77	4.82	1.53	2.63	0.04	4.35	3.72	1.47	0.59	1.00	4.00	1.20	1.20	0.46	0.26	18.80	68	
\bar{x}	43.92	34.28	0.36	16.07	5.37	1.83	3.14	0.06	4.50	3.80	1.37	0.61	1.54	2.80	0.84	1.28	0.44	0.36	19.27	70.60	

Katouré : Cycle court (1985) N. P. K.

N° Echantillon	GRANULOMETRIE (%) μm					ANALYSES CHIMIQUES															
	< 2	2.20	20.50	50.200	200. 2000	C P.100	M.O P.100	CE mmhos cm 1/5	pH eau 1/2.5	pH Kcl 1/2.5	N P.1000	P _{tot} P.1000	Pass ppm	Kass ppm	Bases Ech. meq/100 g				CEC meq/100 g	Fe Ech. et solu ble ppm	Al ppm
															Ca	Mg	Na	K			
R ₁ A ₁ -1						2.31	3.96	0.13	5.15	4.54	1.58	0.73	2.80	3.50	2.80	2.00	0.66	0.13	24.88	48	
R ₁ A ₁ -2						2.91	5.00	0.18	5.59	4.85	1.64	0.73	3.30	3.00	2.40	2.00	0.55	0.26	27.44	71	
R ₁ A ₁ -3						1.28	2.19	0.34	6.01	5.43	1.61	0.74	1.20	2.50	2.20	2.10	0.62	0.26	20.88	27	
R ₁ A ₁ -4						1.50	2.58	0.16	5.79	5.15	1.64	0.63	1.10	2.00	1.60	1.50	0.33	0.52	18.92	37	
R ₁ A ₁ -5	46.01	37.81	0.10	13.82	2.26	1.86	3.19	0.15	4.47	3.93	1.82	0.82	0.50	2.00	2.20	1.80	0.55	0.13	27.28	28	
R ₁ A ₀ 1						2.54	4.36	0.12	4.54	3.93	2.28	0.81	0.60	2.50	2.80	2.20	0.77	0.26	31.52	38	
R ₁ A ₀ -2						2.17	3.72	0.19	4.55	3.87	2.45	0.80	0.80	2.50	2.40	2.00	0.66	0.26	28.80	53	
R ₁ A ₀ -5	47.42	35.29	0.06	11.86	5.37	2.22	3.81	0.14	4.59	4.01	2.62	1.00	1.50	2.00	2.80	2.00	0.62	0.13	30.64	-	
R ₁ A ₂ -1						2.30	3.96	0.12	4.66	4.07	2.80	0.93	1.00	2.00	3.00	2.40	0.62	0.52	24.08	35	
R ₁ A ₂ -2						2.55	4.38	0.12	4.63	4.00	3.15	0.90	0.80	2.50	3.20	2.20	0.66	0.52	23.76	33	
R ₁ A ₂ -5	51.34	37.65	0.10	9.66	1.25	2.77	4.77	0.08	4.55	3.88	3.33	0.95	0.70	2.50	2.60	1.80	0.71	0.13	24.32	25	
R ₁ A ₃ -1						2.55	4.38	0.15	4.59	3.93	2.98	0.97	0.70	2.00	2.80	1.60	0.55	0.26	29.44	48	
R ₁ A ₃ -2						2.91	5.01	0.19	6.03	5.37	3.40	0.88	1.00	2.00	3.00	2.80	0.77	0.52	30.64	77	
R ₁ A ₃ -5	49.00	44.81	0.29	5.52	0.38	2.83	4.87	0.17	4.53	3.94	3.33	0.95	0.60	2.50	3.20	2.20	0.88	0.65	21.16	67	
R ₂ A ₂ -2						1.96	3.36	0.19	4.66	3.96	2.31	0.92	1.00	2.50	3.60	3.00	0.99	0.52	25.04	65	
R ₂ A ₂ -3						2.15	3.70	0.13	6.01	5.40	2.49	0.81	0.80	2.50	3.40	2.80	0.66	0.52	28.40	47	
R ₂ A ₂ -5	35.67	25.48	0.00	18.90	19.95	2.91	5.01	0.15	4.90	4.14	3.08	0.82	0.80	3.50	3.80	3.20	0.55	0.26	25.68	37	
R ₂ A ₁ -2						2.67	4.59	0.14	4.63	3.86	3.33	0.81	0.70	2.50	3.40	2.00	0.44	0.13	32.72	139	
R ₂ A ₁ -5	50.76	38.07	0.11	8.50	2.56	2.43	4.17	0.19	4.51	3.81	2.70	0.75	0.90	3.00	3.60	2.80	0.33	0.13	31.52	109	
R ₂ A ₀ -2						2.31	3.97	0.10	4.65	3.93	2.55	1.16	0.60	2.50	3.80	2.00	0.55	0.26	28.88	54	

N° Echantillon	GRANULOMETRIE (%) μm					ANALYSES CHIMIQUES															
	< 2	2.20	20.50	50.200	200. 2000	C P.100	M.O P.100	CE mmhos/ cm 1/5	pH eau	pH KCl	N P.1000	P _{tot} P.1000	Pass ppm	Kass ppm	Bases Ech. meq/100 g				CEC meq/ 100 g	Fe Ech. et solu ble ppm	Al ppm
															Ca	Mg	Na	K			
R ₂ A ₀ -3						2.35	4.03	0.20	4.31	3.81	2.62	0.99	1.20	3.50	2.60	1.40	0.66	0.26	29.92	35	
R ₂ A ₀ -5	46.68	46.16	0.02	6.20	0.94	2.80	4.80	0.16	4.56	3.92	2.98	1.10	0.70	3.00	3.20	2.20	0.44	0.13	33.84	48	
R ₂ A ₃ -2						3.12	5.35	0.13	4.64	4.02	3.08	1.09	0.80	3.00	3.20	2.20	0.44	0.13	30.48	40	
R ₂ A ₃ -5	47.59	42.53	0.02	8.34	1.52	2.57	4.41	0.15	4.59	3.93	2.90	0.96	1.00	3.50	3.60	2.40	0.55	0.26	30.72	32	
R ₃ A ₀ -1						2.63	4.52	0.19	4.81	4.11	2.77	0.68	1.40	3.00	3.80	1.60	0.44	0.52	29.52	27	
R ₃ A ₀ -2						2.40	4.12	0.17	4.40	3.91	2.94	0.79	0.90	4.00	3.20	1.40	0.55	0.26	31.44	61	
R ₃ A ₂ -1						2.60	4.47	0.18	4.55	4.00	2.59	0.85	1.00	3.00	4.20	2.40	0.22	0.26	30.72	56	
R ₃ A ₂ -2						2.41	4.14	0.14	4.46	3.88	2.84	0.97	1.50	4.00	3.20	2.40	0.38	0.52	30.88	42	
R ₃ A ₂ -5	49.12	41.75	0.02	7.66	1.45	2.43	4.17	0.17	4.74	4.13	2.62	0.91	1.00	3.00	4.00	1.60	0.55	0.13	31.12	44	
R ₃ A ₃ -2						2.62	4.50	0.14	4.50	3.91	2.90	0.83	1.00	3.50	3.00	1.80	0.99	0.13	30.64	37	
R ₃ A ₃ -3						2.65	4.55	0.15	4.70	4.03	2.80	0.78	1.00	3.00	3.20	2.00	0.66	0.26	30.24	39	
R ₃ A ₃ -5	43.38	46.38	0.02	9.06	1.16	2.57	4.41	0.12	4.50	3.91	2.73	0.81	1.60	3.00	3.80	0.80	0.66	0.26	27.52	54	
R ₃ A ₁ -5	41.77	41.76	0.08	14.89	1.50	2.35	4.05	0.17	4.47	3.84	2.70	1.04	0.80	3.50	2.00	1.80	0.55	0.13	31.76	30	
\bar{x}	46.25	39.79	0.07	10.4	3.49	2.44	4.20	0.16	4.80	4.16	2.65	0.88	1.07	2.85	3.08	2.07	0.59	0.29	28.33	49.33	

