

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

REPUBLIQUE DU MALI
Un Peuple - Un But - Une Foi

DIRECTION NATIONALE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPERIEUR

INSTITUT POLYTECHNIQUE RURAL
DE KATIBOUGOU

T H E M E

Suivi de l'Evolution de la Fertilité du sol et des rendements sous
Riziculture continue : Synthèse des résultats d'un Essai pérenne.

Par : Soungalo SARRA

M E M O I R E D E F I N D ' E T U D E S

Présenté pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur des Sciences
Appliquées de l'Institut Polytechnique Rural de Katibougou.

spécialité : Agriculture

Directeur de stage

Dr. Mamadou K. N'DIAYE

Date de Soutenance

TABLES DES MATIERES

	pages
- Dédicace-----	I
- Remerciements-----	II
- Sigles et abrégiactions-----	III
- Listes des tableaux-----	IV
- Listes des figures-----	V
- Résumé-----	VI
- Introduction-----	1
- Chapitre I : Aperçu général sur le milieu-----	2
- 1. Situation Géographique-----	3
- 2. Le Climat-----	3
- 3. La Végétation-----	3
- 4. Les Sols-----	4
- 4-1. Historique Géologique-----	4
- 4-2. Les Types de Sol-----	5
- Chapitre II : Généralité sur la Matière Organique, l'azote, le phosphore et le potassium--	8
A- La Matière organique-----	9
1- Evolution de la Matière Organique dans le Sol-----	9
1-1. Humification-----	9
1-2. Minéralisation-----	10
2- Entretien Organique des Sols-----	11
2-1. Rôle de la matière organique dans le sol-----	11
2-2. Les Principales sources de matière organique-----	12
2-3. Problèmes liés à l'utilisation de la matière organique	13
B. Azote-----	14
C. Phosphore-----	14
D. Le Potassium-----	16
Chapitre III : Fertilisation du Riz Irrigué-----	17
Introduction-----	18

1. La paille de riz-----	19
2. Le Fumier de ferme-----	19
3. Les Engrais verts-----	20
4. Le Son de riz-----	20
B. La Fertilisation Minérale du Riz-----	20
1. Azote-----	20
2. Phosphore-----	21
3. Le Potassium-----	21
Chapitre IV : Etude Expérimentale-----	22
Introduction-----	23
A. Matériels et Méthode-----	23
B. Résultats et Discussions-----	25
C. Suivi Agronomique-----	33
1. Conduite de la pépinière-----	33
2. Préparation du lit de semence et repiquage-----	33
3. Les Observations-----	33
Conclusion-----	34
Conclusion - Suggestions-----	36
Bibliographie-----	37
Annexe-----	VII

D E D I C A C E

Je dedie le présent mémoire de fin d'études à mes chers parents, feu Nia SARRA et feu Gnère COULIBALY qui ont su guider mes premiers pas dans la vie. Que Dieu les pardonne ;
à mon frère bien aime Sibiry SARRA pour son soutien moral et matériel ;
à mon épouse Haby GOITA et mes enfants qui m'ont toujours entouré d'affection. Que Dieu vous comble de santé, de bonheur et de prospérité.

R E M E R C I E M E N T S

Je dois beaucoup :

- au corps professoral et la direction de l'IPR de Katibougou pour la qualité de l'enseignement que j'ai reçu,
- à Mamadou Kabirou N'DIAYE et Amadou TRAORE qui m'ont encadré avec efficacité et rigueur.

J'exprime ma profonde gratitude au Dr. Issa DEMBELE, professeur de pédologie à l'IPR et sa famille pour le soutien dont j'ai été l'objet de leur part durant mon séjour à Katibougou.

Je tiens à remercier :

- tout le personnel de la Station de Kogoni et particulièrement Mamadou M'Baré COULIBALY, Chef de la dite Station, Djoukamady DIALLO, Hamadoun ABDOULAYE et leurs familles pour m'avoir facilité le séjour à Kogoni.
- tous mes promotionnaires particulièrement Bougouna TRAORE, Soungalo DAO et Abdoul Karim KANE pour leur franche collaboration. Que Dieu vous accorde longue vie et succès dans votre existence.

Je remercie tous ceux qui de loin ou de près ont concouru à l'élaboration de ce mémoire.

Je dois beaucoup particulièrement à toute l'équipe du projet Riz Irrigué pour avoir permis l'élaboration de ce document.

Que Mr. COULIBALY Soungalo et famille trouvent ici ma profonde gratitude.

SIGLES ET ABREVIATIONS

- m.o = matière organique
- O.N = Office du Niger
- INRA = Institut National de Recherche Agronomique
- IRAT = Institut de Recherche d'Agronomie Tropicale
- IRRI = International Rice Research Institut
- SRCVO = Secteur de Recherche sur les Cultures vivrières et
Oléagineuses
- ADRAO = Association pour le Développement de l'Agriculture en Afrique
Occidentale
- AGP = Agro-pédologie
- doc. = document
- ENSUP = Ecole Normale Supérieure
- mens. = mensuration
- BEAU = besoin en eau.

LISTE DES TABLEAUX

	pages
Tableau 1. : Répartition des sols de l'Office du Niger-----	6
Tableau 2. : Caractéristiques physico-chimiques de quelques sols rizicoles du Mali-----	7
Tableau 3. : Composition moyenne du compost-----	13
Tableau 4. : Taux d'azote des sols de l'Office du Niger-----	14
Tableau 5. : Taux de phosphore dans les sols de l'O.N-----	16
Tableau 6. : Taux du potassium des sols de l'O.N-----	17
Tableau 7. : Résultats des essais effectués à l'Office du Niger sur le son de riz-----	20
Tableau 8. : Caractéristique du site-----	23
Tableau 9. : Traitements composés-----	24
Tableau 10. : Caractéristique physico-chimique de l'échantillon moyen-----	24
Tableau 11. : Traitement mis en comparaison-----	25
Tableau 12. : Moyenne sur 8 ans du rendement paddy-----	25
Tableau 13. : Rendement paddy en kg/ha-----	26
Tableau 14. : Résultats d'analyse de variance des hauteurs moyennes et du nombre de talles/m ² -----	34
Tableau 15. : Interaction matière organique x fertilisation minérale (hauteurs moyennes de la 2 ^e mensuration)-----	35

LISTE DES FIGURES

Fig.1 : Résultats pluriannuels de rendement paddy-----27

Fig.2 : Effet matière organique en présence d'une
faible fertilisation minérale sur le rendement
paddy-----28

Fig.3 : Effet matière organique en présence d'une
fertilisation minérale sur le rendement paddy-----29

Fig.4 : Effet fertilisation minérale en présence de la paille
enfouie sur le rendement paddy-----30

Fig.5 : Effet fertilisation minérale en présence de 5t/ha
de fumier-----31

Fig.6 : Effet de la fertilisation minérale sur le rendement
paddy-----32

En agriculture, l'un des facteurs déterminants des rendements est la fertilité du sol. Cette fertilité dépend de plusieurs facteurs à savoir la nature du sol, la teneur et la disponibilité des éléments nutritifs dont les plantes ont besoin, etc...

Un sol mis en exploitation perd progressivement sa fertilité si les exportations d'éléments fertilisants par les récoltes sont supérieures aux importations. Ce qui se traduit par une baisse de rendement.

Pour éviter de telle situation, il s'avère donc nécessaire de suivre l'évolution de cette Fertilité afin de trouver des moyens adéquats, pour la maintenir ou l'améliorer.

C'est dans ce cadre qu'un essai pérenne a été implanté à Kogoni depuis 1981 pour suivre l'évolution de la Fertilité du sol et des rendements sous riziculture continue. Ma contribution était de faire une Synthèse des résultats existant sur les rendements obtenus pendant les huit dernières années.

Le travail consistait à collecter, à analyser des données et à interpréter les résultats. Nous sommes arrivés à la conclusion suivante :

- amélioration du rendement par l'enfouissement de la paille produite. Cet effet paille est très net lorsque la paille est associée à 50 N/ha ; mais il s'atténue avec la forte dose de fertilisation minérale (100 N/ha + 30 P205).
- L'apport de 5t/ha de fumier a un effet similaire à celui de la paille enfouie, mais semble meilleur.
- Quelle que soit la source de matière organique, on note un effet fertilisation minérale. La fertilisation minérale améliore l'efficacité de la matière organique.
- Il existe une interaction hautement significative entre les deux facteurs (matière organique x Fertilisation minérale).

INTRODUCTION

La Fertilité d'un sol est sa capacité de fournir des éléments nutritifs en quantité suffisante dont la plante a besoin.

Cette Fertilité est déterminée par les réserves d'éléments fertilisants, leur disponibilité et le mode de leur livraison.

Un sol cultivé pendant longtemps sans fertilisation organique ou minérale perd progressivement son potentiel de production. D'où la nécessité de maintenir ou d'améliorer cette Fertilité afin de garantir des rendements stables et élevés.

En riziculture, la fertilisation a pour but soit de corriger les carences des sols en certains éléments majeurs ou mineurs, soit d'accroître le potentiel global de Fertilité du sol, ou de compenser les exportations d'éléments fertilisants par les récoltes.

Le choix d'une formule de fertilisation doit être fonction du niveau de la production et de la rentabilité de la fumure.

Au Mali, dans le cadre de la fertilisation minérale du riz irrigué, la recherche agronomique a fait de nombreux travaux et des résultats probants existent.

Compte tenu du coût élevé des engrais et du faible pouvoir d'achat des paysans, il est nécessaire de mettre au point d'autres formules de fertilisation plus supportables par les riziculteurs. Pour cela la recherche agronomique a initié un programme qui repose sur la restitution de la matière organique par l'enfouissement de la paille de riz et du fumier. Ce programme de recherche est en cours depuis 1972 et a subi des modifications pour répondre aux exigences du système de double culture.

La présente étude consiste en une synthèse des résultats de huit ans d'un test qui a pour but de suivre l'évolution de la Fertilité du sol et des rendements sous riziculture continue et du suivi de la contre saison du test d'évolution de la Fertilité du sol sous double culture. Le présent mémoire comporte deux grandes parties :

- partie bibliographique : généralité sur le milieu, la matière organique, l'azote, le phosphore, le potassium et la fertilisation du riz irrigué.
- une partie d'étude expérimentale qui comprend la Synthèse des résultats de 8 ans d'un test d'évolution de la Fertilité et des rendements, et le suivi de la contre saison du test sous riziculture intensive.

C H A P I T R E I

A P E R C U G E N E R A L S U R L E
M I L I E U

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE :

Des travaux effectués par des auteurs comme E. Belime, R. Furon, R. Chudeau, J. Malavoy, etc... Ont permis de dégager la situation géographique et les informations qui suivent sur le delta central Nigérien. Vaste plaine ayant la forme d'un quadrilatère, le delta central Nigérien s'étend en direction du Nord-Est à partir de Sanssanding, petite ville située sur le Niger à 50 km en aval de Ségou jusqu'à la zone lacustre.

Cette plaine alluviale couvrant environ 2 millions d'hectares est limitée au Sud et à l'Est par le fleuve Niger et à l'Ouest par le marigot de Molodo (ancien défluent tari) qui inondait les provinces du Kala, du Kouroumari et du Méma.

Le delta central Nigérien se subdivise en deux zones différentes par leur régime hydrologique:

- A l'Est, les basses plaines (encore inondées actuellement en période de crue) constituent le delta vif (provinces du Macina et du Diaka).

- A l'Ouest et au Nord les plaines asséchées constituent le delta mort qui regroupe les provinces du Kala, du Kouroumari et Méma-Farimaké.

A partir de 1932, un aménagement des terres de la partie occidentale a été entrepris pour la culture du coton et du riz. Dans le delta vif, cet aménagement a consisté à protéger les terres à irriguer contre les crues annuelles par endiguement du fleuve ; alors que dans le delta mort, il s'agit de mettre en eau un réseau hydraulique fossile (mise en eau des anciens défluent asséchés).

2. LE CLIMAT

Le climat est du type soudano-sahélien. La pluviosité varie de 400 à 700 mm avec une moyenne de 550 mm par an. Les températures minimales sont 10-15°C et maximales 35-40°C.

On distingue trois périodes climatiques importantes :

- une saison sèche froide de Novembre à Février ;
- une saison sèche chaude de Mars à Juin ;
- une saison chaude pluvieuse de Juillet à Octobre.

les vents dominants sont :

- l'harmattan, chaud et sec, souffle du Nord-est au Sud-Ouest de Mars à Juin,
- la mousson, vent humide souffle de Mai à Septembre apportant la pluie.

A ces deux vents dominants, il faut ajouter un vent frais qui souffle de Novembre à Février en direction Nord-Est - Sud-Ouest.

Le climat a une influence sur le taux de la matière organique des sols.

Ainsi, par l'intermédiaire de la pluviosité et des hautes températures, il favorise une décomposition rapide de la matière organique et limite son accumulation dans le sol.

De même, l'harmattan, vent chaud et sec, a une action érosive contribuant à la réduction de la matière organique de la couche superficielle du sol.

3. VEGETATION :

La végétation naturelle de la zone du delta mort varie d'une steppe arbustive à une steppe herbacée du Sud vers le Nord. Sa distribution spatiale est liée à la disponibilité de l'eau du sol.

On y rencontre des Acacia (épineux) en dominance et des graminées (*Panicum anabaptistum*, *Andropogon amplexans* etc... Sur les sols argileux.

Sur les sols sableux et limoneux, on note la présence de *Guiera sénégalsis*, *Boscia sénégalsis*, *Combretum micracitum*, *Pterocarpus Luceas*, *Pennisetum sp*, *Schoen feldia gracilis*, *Londetia sp* et quelques Acacia.

Cette végétation est peu abondante et insuffisante pour assurer l'alimentation du bétail. Ceci entraîne une utilisation importante de la paille de riz dans l'alimentation des animaux ; Néanmoins, elle peut relativement protéger les sols contre l'érosion éolienne à condition qu'elle ne soit pas dégradée par les feux de brousse et le surpâturage.

4. LES SOLS :

Les sols du delta central ont fait l'objet de différentes études les unes assez anciennes Y. URVOY, Y. Brimet, B. Dabin, Moret, et les autres récentes Touyon, Van Drepen Bertrand, B. KEITA et al etc...

4-1. Historique Géologique :

Les deltas vif et mort résultent de l'évolution érogénique d'une vaste zone. La dalle primaire schisto-gréseuse qui descendait jusqu'aux salines de Taoudenit, fut au tertiaire l'objet d'un effondrement qui déterminant un immense fossé de 60 - 100 m de profondeur.

Ce fossé servit d'exécutoire au Niger supérieur venant du massif du Fouta-Djallon vers le nord et suivant la trace de l'actuel "Fala" de Molodo. Cette cuvette inclinée Nord-Ouest, communiquait avec la dépression du Hodh.

La formation des ergs de Sokolo par suite d'une période aride sépara le delta central Nigérien de la dépression Hodh. Le réchauffement de ces ergs accentua l'assèchement progressif du delta dans sa partie occidentale.

Ainsi le fleuve Niger selon Y. URVOY (1942), ne trouvant plus d'exécutoire, poursuivit le colmatage du fossé d'effondrement par le dépôt d'importantes couches d'alluvions. Ces dernières d'après B. DABIN (1951), atteignent 5-6 m dans le Kala et plus de 20 m d'épaisseur dans le Méma. Le fleuve finit par trouver, il y a quelques millions d'années un passage vers le golf de Guinée par le percement du seuil de Tossaye. Le "Djoliba", fleuve amont, qui empruntait le talweg du Niger actuel jusqu'à la zone lacustre communiqua avec "l'Issa Ber" (Niger saharien venu des Iforas et de l'Air) à la suite d'une série de phénomènes de capture à l'Est de Tombouctou. Ces captures donnèrent au Niger son cours actuel et entraînèrent le dessèchement progressif de la partie Nord et Ouest du delta. C'est ainsi que la région située à l'Ouest de la ligne Markala-Niafunké n'est plus inondée et constitue le delta mort ; celle de l'Est constitue le delta vif.

De même les "Fala" de Molodo et de Boky-wéré anciens défluent du Niger furent isolés puis taris. Les dépôts alluvionnaires comblèrent ceux-ci. Les marigots cessant de débiter et avec la baisse de la nappe phréatique, les régions du

Kala, du Kouroumari, du Méma et du Farimaké évoluèrent progressivement vers l'aridité.

Les travaux de Y. Brumet-Moret et al (1986) ont confirmé ceux de B. Dabin (1951) et Y. URVOY (1942) selon lesquels le substratum du delta est schisto-gréseux et recouvert d'alluvions constitué de quartz (arraché au mont mandingue), d'argiles, de limons silicieux, d'oxyde de fer (issus des sols latéritiques du haut Niger).

Des produits de dégradation du substratum gréseux forment le matériau parental des sols du delta. Nous pouvons conclure en disant que la nature de la roche-mère (matériau d'origine) détermine la fertilité des sols.

4-2. LES TYPES DE SOLS :

D'origine alluvionnaire, les sols du delta ont été décrits et classés suivant certains termes locaux (vernaculaire) par B. Dabin (1951). Cette classification est basée sur l'aspect superficiel du sol et tient compte plus des propriétés structurales, de la couleur et du micro relief des sols. Suite aux analyses texturales de Dabin, le projet BEAU a effectué des mesures de la porosité et de la densité apparente et a décrit plus en détail la composition texturale en profondeur des différents types de sols. Les résultats ont montré une grande diversité de composition granulométrique de ces sols alluviaux. Ainsi, on note d'importantes variations texturales et d'épaisseurs non seulement entre les divers types de sol, mais aussi entre les parcelles très voisines à l'intérieur d'un même type vernaculaire.

Après les travaux de B. Dabin, une étude morphopédologique a été faite dans le Kala inférieur en 1991 par B. KEITA et al. Il est ressorti de cette étude que d'une façon générale tous les sols ont acquis un caractère hydromorphe. Suivant la toposéquence la classification suivante a été retenue :

- Les Séno : Sols hydromorphes, peu humifères (0,5 - 0,6 %) à gley plus ou moins profond et à fort battement de nappe. Le rapport C/N inférieur à 10 indique une bonne minéralisation. La CEC varie entre 4 et 5 meq/100g (très faible) et l'argile est exclusivement du type kaolinite. Le pH est de l'ordre de 6 à 6,5. Ces sols occupent les hautes levées et constituent 6 % des sols de l'Office du Niger.

- Les Danga : Ce sont des sols hydromorphes peu humifères 0,96 % à gley plus ou moins oxydé de profondeur. Le rapport C/N est égal à 7. L'argile est du type kaolinite et la CEC inférieure à 10 meq/100g. La prédominance du sodium fait qu'il y a un risque de sodisation. Ils constituent 56 % des sols de l'Office du Niger et occupent les levées récentes (petites levées). Pour la granulométrie les Danga présentent un faciès très variable.

- Les Dian : Les Dian sont des sols hydromorphes peu humifères (0,5 à 1,3 %) à tendance vertique faiblement alcalisés ou des vertisols à drainage externe nul ou réduit à structure grossière peu stable non grumosolique. Le rapport C/N est égal à 8 et la CEC varie de 25 à 27 meq/100g. Ils représentent 25 % des sols de l'Office du Niger. Le pH est compris entre 4,6 et 8,4.

- Les Moursi : Vertisols à drainage externe nul ou réduit à structure arrondie (grumosoliques), parfois dégradés, instables sont pauvres en matière organique (0,5 à 1,3 %) et renferment des nodules calcaires. Leur fertilité est moyenne mais ils présentent parfois un risque de carence en zinc. Le déséquilibre azote/phosphore est assez fréquent et ils sont parfois alcalins.

Le pH varie entre 5,2 et 8,2. Les Moursi représentent 10 % (voir tableau 1. des sols de l'Office du Niger et occupent comme les Dian les cuvettes alluviales.

En conclusion, on peut dire que d'une façon générale, les sols du delta mort (Kala et Kouroumari) ont des teneurs en matière organique peu élevées. Ces teneurs varient de 0,5 % dans les sols "Seno" et "Danga" à 1,3 % environ dans sols "Dian" et "Moursi" (M. K. N'DIAYE). Leur Fertilité est faible en général.

Au point de vue acidité, on note des variations du pH d'un type de sol à un autre et au sein d'un même type (B. KEITA et al 1991, cités par W.VELDKAMP).

Les Dian et les Moursi sont neutres ou alcalins en surface mais on y rencontre quelques uns acides.

Les autres types de sol (Danga, Seno) sont plus ou moins acides.

La réaction alcaline ou fortement acide a une action néfaste sur le développement des plantes et l'activité des micro-organismes décomposant la matière organique du sol.

Un autre phénomène est constaté dans les sols du delta central Nigérien ; il s'agit de la sodisation. Bien que la vitesse du processus n'est pas connu à présent, l'étude de M. K. N'DIAYE et al 1990, donne une estimation de 7 à 14 % des sols rizicoles affectées et 35 % en maraîchage. Ce qui aura pour conséquence une élévation du pH entraînant ainsi la dispersion de la matière organique. Ces sols deviendront très compacts et imperméables avec la dispersion de l'argile par le sodium.

Tableau 1 : Repartition des sols de l'Office du Niger.

Type de sol	Superficie (en ha)	%
Danga	24847	56
Dian	10809	25
Moursi	4527	10
Seno	2611	6
Boi	656	1
Dian- Moursi	551	1

Source : projet BEAU 1981.

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques de quelques sols rizicoles du Mali.

	Station de Kayo sol limono-argileux	Station de Niono Sol limono-argileux	Station de Kogoni sol argilo-limoneux	C.R.M de Molodo sol argilo-limoneux
Profondeur (cm)	0 - 30	0 - 25	0 - 25	0 - 30
Sable grossier	10	21	13	10
Sable fin	55	32	16	14
Limon	17	24	9	9
Argile	17	13	62	58
Mat.org.T. o/oo	11, 9	9, 6	11, 9	9, 1
pH eau	6, 3	6, 1	4, 9	6, 8
N total	0, 58	0, 39	0, 43	0, 32
C/N	12	14	16	17
P total	0, 23	-	-	0, 12
P assimilable	0, 003	Traces	0, 003	Traces
{Ca	3, 20	4, 80	7, 60	4, 30
Meg/100g {K	0, 14	0, 18	0, 33	0, 12
{Mg	2, 10	2, 35	3, 60	0e22
{Na	0, 05	0, 09	0, 04	0, 02
Bases echan.= S	5, 49	7, 42	10, 57	5, 46
Complexe absor = T	6, 2	8, 4	13, 0	-
Saturat.du complexe absor.=V en % = (S)	88	88	81	-
(T)				

Source : M.F. TRAORE 1972.

C H A P I T R E I I

GENERALITES SUR LA MATIERE ORGANIQUE, L'AZOTE, LE PHOSPHORE ET LE
POTASSIUM

A. LA MATIERE ORGANIQUE :

Introduction : la matière organique, est l'ensemble des composés humiques issus de la décomposition de tous débris végétaux. Cette transformation des débris végétaux est essentiellement d'origine biologique et est appelée humification.

La matière organique a un triple rôle dans le sol : physique, chimique et biologique. Pour cette raison, elle est très anciennement utilisée comme pilier de la fertilisation des cultures.

1. Evolution de la matière organique dans le sol :

Les débris végétaux ajoutés au sol subissent des transformations et donnent naissance à de l'humus jeune en voie de décomposition rapide pour aboutir à l'humus stable dont l'évolution est beaucoup plus lente. Au cours du processus de l'évolution dû à l'action des bactéries et des champignons on assiste à une réduction progressive du rapport C/N et du poids de la matière organique.

La vitesse de cette évolution est liée aux conditions pédoclimatiques. La disponibilité de l'humus dans le sol (rapidité de solubilisation) dépend également des conditions telles que le pH, le pédoclimat, la structure du sol etc...

On distingue deux processus d'évolution de la matière organique dans le sol : l'humification et la minéralisation.

1-1. Humification :

L'humification est l'ensemble des processus de Synthèse aboutissant à la formation des composés humiques colloïdaux de néoformation ayant contracté des liaisons plus ou moins stables avec les éléments minéraux du sol (argiles, hydroxydes de fer et d'aluminium) au dépend de produits plus ou moins solubles résultant de la décomposition des débris végétaux.

L'humification aboutit donc à la formation de molécules organiques complexes le plus souvent insolubles dont les plus importants sont les acides humiques et fulviques. Elle résulte de deux types de processus intervenant à des degrés très variables suivant les cas :

- processus purement physico-chimiques : oxydation et polymérisation sous l'influence de l'aération et de la dessiccation.

Ces processus se déroulent surtout en milieu biologiquement très peu actif soit très acide (mor), soit mal aéré (certaines tourbes acides). Il se forme généralement des composés peu polymérisés (acides fulviques et acides humiques bruns), l'humification étant lente et incomplète.

- processus biologiques qui activent les premiers, caractérisent les milieux biologiquement actifs (mull forestiers).

L'humification est d'autant plus rapide et poussée si le milieu est mieux aéré et plus riche en calcium (la fixation de groupements aminés et la polymérisation de polyphénols sont favorisées par l'abondance des ions calcium et la richesse en azote du milieu).

Il faut signaler que la vitesse de décomposition de la matière organique varie en fonction de son rapport C/N. En ce qui

concerne les humus faiblement transformés et non incorporés au sol minéral leur rapport C/N renseigne sur leur activité, c'est à dire le taux d'azote susceptible de se minéraliser annuellement. Au dessus de 30, cette activité est presque nulle. Elle augmente progressivement lorsque le rapport C/N descend aux environs de 20 (mor actif, moder) ; pour les mull C/N = 10.

Le rendement de la matière organique en humus dépend de son coefficient isohumique (K1) qui est le rapport de la quantité d'humus formé à la quantité de matière sèche contenue dans la matière organique introduite dans le sol (André GROS). Les coefficients isohumiques varient assez largement pour un même produit selon les auteurs ce qui souligne la complexité du problème et la diversité de composition des produits étudiés. Il suffit de multiplier les coefficients K1 par le tonnage de la matière sèche apportée pour avoir la quantité approximative d'humus formée dans le sol.

D'après S. Henin, nous donnons ci-dessous les coefficients K1 et les proportions approximatives de matière sèche de certains produits.

Coefficients isohumiques K1

Fumier bien décomposé :	0, 5
Fumier plus ou moins pailleux :	0, 2 à 0, 4 (0,3)
Pailles enfouies avec engrais azotes :	0,15 à 0, 3 (0,22)
Pailles enfouies sans engrais azotes :	0,08 à 0,15 (0,11)

Proportions de matière sèche

Herbe verte :	20-21 %
Fourrage de légumineuses en vert :	18-24 %
Pailles de céréales :	86-92 %
Fumier de bovins :	19-23 %
Fumier de moutons :	25-30 %

1-2. La Minéralisation :

La minéralisation de la matière organique fait allusion à la formation de composés minéraux en général solubles (phosphates, sulfates, nitrates) ou gazeux (CO₂, NH₃) sous l'influence des micro-organismes actifs. Elle aboutit à la disparition de la matière organique et sa vitesse rend compte de la quantité globale de matière humifiée ou non qui subsiste à un instant donné dans le sol.

On distingue une minéralisation primaire et une minéralisation secondaire (voir schéma ci-après).

Dans des conditions d'anaérobiose dû à un engorgement par l'eau stagnante la minéralisation primaire est freinée.

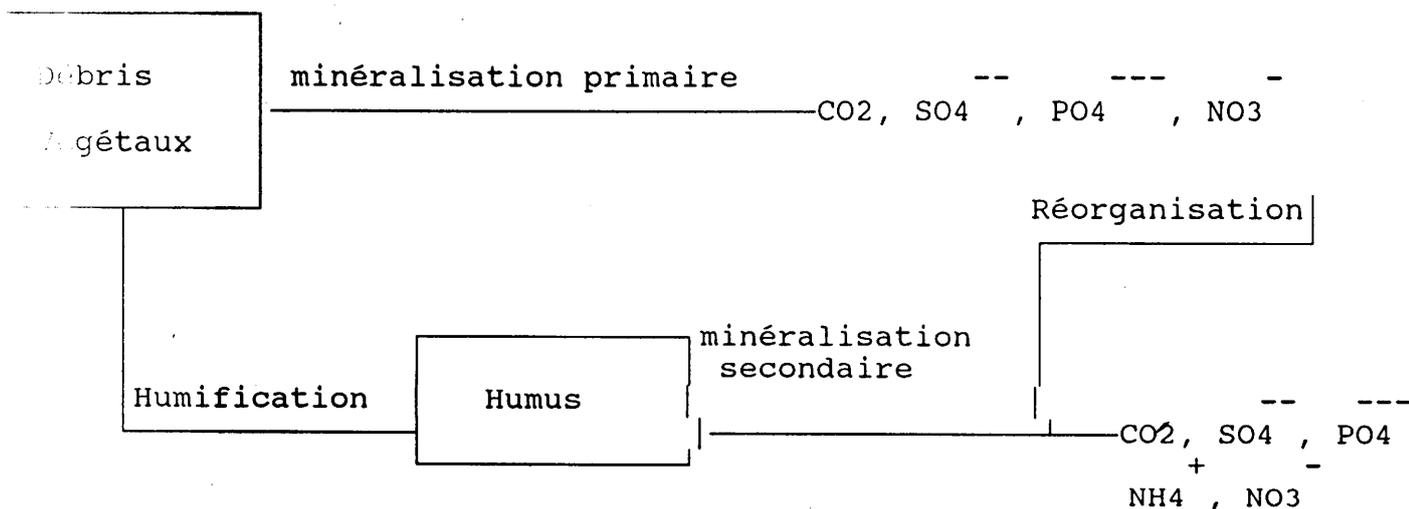


schéma d'évaluation de la matière organique (Source : cours de pédagogie).

2. ENTRETIEN ORGANIQUE DES SOLS :

D'après André Gros et autres, une meilleure connaissance du processus d'évolution de la matière organique dans le sol a montré que c'est la première phase de dégradation de ses produits qui est plus bénéfique pour le sol et non la phase ultime aboutissant à la "vieille graisse" tant vantée autrefois. Donc pour l'entretien organique des sols, l'objectif recherché ne doit pas être l'enrichissement maximum en humus stabilisé, mais d'apporter au sol un volume important de matière organique par des doses modérées à des intervalles courts dont la décomposition assurera une vie microbienne active et permettra l'obtention de hauts rendements.

2-1. Rôle de la matière organique dans le sol :

il revêt un triple aspect : physique, chimique et biologique. Aussi le maintien d'un taux d'humus satisfaisant est-il un est des principaux objectifs de l'agronome.

Sur l'aspect physique, la matière organique améliore les propriétés physiques du sol par une action favorable sur la structure assurant une bonne circulation de l'air, de l'eau et des racines dans le sol. Le sol devient plus meuble, mieux aéré, moins sensible à la sécheresse et moins lourd. L'humus est en définitif le principal agent de stabilité de la structure.

Du point de vue chimique, la matière organique régularise et stimule la nutrition minérale des plantes par :

- une augmentation de la capacité d'échange des ions du sol en constituant l'essentiel du complexe absorbant, régulateur de la nutrition des plantes.

- une fourniture d'aliments pour la plante en libérant au cours de la minéralisation de l'azote, du CO2 et de l'ensemble des oligo-éléments ; la formation des complexes phospho-humiques maintenant ainsi le phosphore à l'état assimilable par les plantes, malgré la présence du calcaire et du fer libre ;

- la formation des complexes avec les oligo-éléments empêchant ainsi leur lessivage.

- la facilité d'absorption des éléments fertilisants des engrais minéraux à travers la membrane cellulaire des radicelles ;

- une action stimulante marquée sur la croissance des racines par libération des éléments minéraux de l'humus et par une véritable stimulation de divers processus ou métabolismes de la plante.

Sur le plan biologique, la matière organique augmente l'activité biologique du sol en servant d'aliment à la population microbienne et aux vers de terre.

La matière organique relève la capacité de production du sol. En améliorant les propriétés physiques du sol, en stimulant l'absorption des éléments nutritifs, en fournissant sur ses réserves des éléments fertilisants à la plante, en assurant un meilleur régime hydrique, en activant la vie microbienne du sol, l'humus crée de meilleures conditions de vie pour la plante cultivée et lui permet de produire davantage.

2-2. Les principales sources de matière organique :

Les sources de matière organique sont très variées. Les diverses cultures laissent dans le sol des déchets organiques qui sont à l'origine d'une importante partie du stock d'humus. Les principales sources d'humus sur l'exploitation sont :

- les fumiers : ils constituent une source très importante d'humus. Nous avons le fumier de ferme fabriqué sur les exploitations disposant de bétail et le fumier artificiel qui est produit par les exploitations qui n'ont pas de bétail.

La composition des fumiers est très variable. Pour le fumier de ferme, la moyenne retenue est de l'ordre de :

Azote-----	4	kg/tonne
P2O5-----	2,5	kg/tonne
K2O-----	5,5	kg/tonne
Chaux-----	5	kg/tonne
Magnésie	2	kg/tonne
Soufre-----	0,5	kg/tonne
Mn-----	40	g/tonne
Bore-----	4	g/tonne
Cu-----	22	g/tonne

Source : A. GROS (1974)

- Les pailles enfouies :

Dans de nombreuses exploitations, les pailles enfouies constituent la principale source d'humus et les spécialistes estiment qu'elles sont à mesure d'entretenir un taux satisfaisant d'humus dans le sol. une tonne de pailles enfouies peut donner en moyenne 100 à 200 kg d'humus stable(A.GROS). L'addition d'azote à la paille enfouie(6 à 12 kg/ tonne) accélère non seulement le rythme de la minéralisation, mais permet à la paille de former davantage d'humus (A. GROS 1974).

- Les résidus de la récolte :

Ce sont les déchets organiques laissés dans ou sur le sol par la culture sortante sous forme de feuilles, tiges, racines et d'autres organes aériens ou souterrains. Les résidus de récolte dont l'importance est proportionnelle à la masse végétative créée en cours d'année, constituent un des moyens par lesquels l'emploi des fortes fumures minérales accroît la teneur du sol en humus.

- Les engrais verts :

Ce sont des plantes à végétation rapide destinées à être enfouies pour améliorer les propriétés physiques du sol et l'enrichir en humus.

- Le compost : il est obtenu par la mise en fermentation des débris végétaux. Pour sa fabrication, différentes techniques ont été améliorées pour obtenir des produits de qualité.

Tableau 3 : Composition moyenne du compost.

	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Na %	Matière organique %
Compost	0,70	0,11	0,76	0,61	0,04	0,44	38,53

Source (commission technique SRCVO 1991).

2-3. Problèmes liés à l'utilisation de la matière organique :

Puisque l'humus est un élément fondamental de la Fertilité, l'agriculteur est conduit à se demander si le système de culture qu'il pratique assure l'entretien organique de ses terres dans des conditions satisfaisantes. Il faut reconnaître que la réponse à cette question est approximative, car on ne connaît que de façon peu exacte les deux postes du bilan humique, à savoir d'une part le volume annuel des restitutions organiques dont le calcul est assez arbitraire et se trouve lié au niveau des rendements de l'année considérée et d'autre part le taux annuel de destruction de l'humus préexistant dans le sol qui dépend de nombreux facteurs (le climat, la structure physique du sol, le pH, l'intensité de la culture, bref tout ce qui influence l'activité microbienne) (A. Gros).

Dans nos régions, les principaux problèmes de l'utilisation de la matière organique sont :

- la disponibilité des matériaux pour atteindre les quantités désirées ;
- la production (absence de stabulation du bétail) ;
- le transport (faiblesse de moyens de transport) ;
- le manque de moyens d'épandage et d'enfouissement ;
- les effets néfastes tels que la faim d'azote s'il s'agit de matériau non encore bien décomposé (paille), la formation de matélas occasionnant des conditions d'asphyxie et la constitution d'un refuge pour les insectes et les agents pathogènes.

B. AZOTE

Les informations qui suivront dans ces trois sous-chapitres sur l'azote, le phosphore et le potassium sont tirés des travaux de W. J. VELDKAMP et al 1991.

Il ressort des études menées par la cellule agro-pédologie en 1991 sur la Fertilité des sols du Mali, que dans le système de riziculture irriguée la gestion de la fertilisation azotée est peut être le facteur principal pour déterminer le rendement. L'efficacité de l'azote détermine le rendement du riz. La restitution de la paille reconstruit la réserve du sol en azote avec un faible effet sur l'azote disponible. Le taux d'azote des sols de l'Office du Niger varie de 0,03 à 0,06 % dans l'horizon 0-20 cm et de 0,02 à 0,03 % dans l'horizon 20-40 cm (voir tableau 4)

Tableau 4 : Taux d'azote des sols de l'Office du Niger.

Horizon	N %	
	0-20 cm	20-40 cm
Dian	0,60	0,03
Moursi	0,05	0,03
Danga	0,04	0,02
Danga Seno	0,03	0,02

Source : fertilité des sols du Mali. Mali-Sud/Office du Niger. Interprétation des données analytiques des sols et des plantes (cellule agro-pédologie de Sotuba).

Les pertes annuelles d'azote dans les sols de l'Office du Niger sont estimées à 4-11 kg N/ha par l'eau d'irrigation, 8-20kg N/ha, par volatilisation, 19-42 kg N/ha par la dénitrification et 24 kg N/ha par le drainage, soit au total 55-97 kg N/ha.

Pour améliorer les taux d'azote, compenser les pertes et garantir un bon rendement du riz sur les sols de l'Office du Niger, il a été recommandé d'appliquer l'Azolla et enfouir de la paille sur tous les sols si possible ainsi que le NPK.

C. LE PHOSPHORE :

En général le taux de phosphore dans les sols du Mali est souvent bas ou très bas, soit en phosphore-total, soit en phosphore assimilable. Il se trouve dans le sol sous plusieurs formes (les formes solubles et formes moins solubles). une partie importante du phosphore se trouve dans la matière organique.

Dans les sols de l'Office du Niger il n'y a pas beaucoup de variations dans le taux de phosphore assimilable et phosphore total avec la profondeur. La plupart des pertes de phosphore sont causées par l'érosion (disparition du sol superficiel).

La matière organique joue un rôle important dans la fixation du phosphore. A l'Office du Niger où les sols ont un faible taux de matière organique, l'application de la paille peut augmenter cette fixation et causera une carence en phosphore. Les sols auront une réserve en phosphore relativement élevée (voir tableau 5) mais inutilisable par une culture de riz irrigué dans toute la profondeur du sol car, l'enracinement est limité.

Avec des hauts rendements (>4t/ha), la fertilisation phosphatée sera importante. Dans ce cas on utilisera le phosphore soluble pour avoir un effet direct. L'interaction N X P est à revoir. Elle diminue lorsque le phosphore vient de la réserve.

Si les rendements montent au-dessus de 6 tonnes/ha, la matière organique et le phosphore sont tous importants. Dans les sols alcalins de l'Office du Niger, sans la matière organique le PNT est moins efficace et il faut apporter le phosphate soluble.

Tableau 5 : Taux de phosphore (Bray 2) dans les sols de l'Office du Niger.

Sol	P.assimilable, ppm, 0 - 20 cm			P. total, ppm, 0 - 20 cm		
	Ecart	Moyen	Interpre- tation	Ecart	Moyen	Interpre- tation
Dian	1 - 7	2,3	bas	10-190	107	bas
Moursi	1 - 8	3,8	"	40-200	121	"
Danga	1 -13	4,7	"	20-160	81	Très bas
Danga- Seno	2 -10	4,4	"	50-120	65	" "

Sol	P.assimilable, ppm, 20-40 cm			p.total, ppm, 20 - 40 cm		
	Ecart	Moyen	Interpre- tation	Ecart	Moyen	Interpre- tation
Dian	0 - 5	1,4	Très bas	10-180	106	bas
Moursi	1 -10	3	bas	40-200	119	"
Danga	1 -14	3,6	"	10-140	80	très bas
Danga Seno	1 -10	3,6	"	40- 70	53	"

Source : fertilité des sols du Mali. Mali-Sud/Office du Niger. Interprétation des données analytiques des sols et des plantes (cellule agro-pédologie de Sotuba).

D. LE POTASSIUM :

Le potassium est un élément très soluble qui est adsorbé par le complexe argilo-humique. Les ressources en potassium dans les matériaux non-altérés (micas par exple) constituent des réserves disponibles quand le K du complexe s'épuise. De tel effet tampon se réalise quand la production agricole continue sur un niveau bas pendant une large période. Mais dès que les rendements augmentent par l'application d'une fertilisation, N, P, les besoins en K montent très rapidement.

Au Mali les expérimentations n'ont pas montré de réponse positive au potassium.

Les pertes de potassium par lixiviation dépendent de la pluviométrie du drainage vertical, de la perméabilité du sol, de la profondeur du sol, de la CEC et du taux de matière organique. Elles varient entre 6 et 13 kg/ha/an.

En riziculture irriguée avec exportation de la paille le bilan est négatif. Une source de potassium est l'eau d'irrigation et de la nappe. Une application de potassium est nécessaire avec des rendements élevés de plus de 4 tonnes.

Les taux de potassium des sols de l'Office du Niger sont consignés dans les tableaux 6.

A partir de ces taux et le niveau de production à l'Office du Niger, il a été recommandé : l'enfouissement de la paille + NPK sur les Dian et Moursi, l'enfouissement de la paille seulement sur les Danga et Danga Seno.

Tableaux 6 : Taux de Potassium des sols de l'Office du Niger suivant Veldkamp et al 1991.

Tableau 6a Horizon 0-20cm

SOL	INTERVALLE	MOYENNE K ech meq	K/CEC %	INTERPRETATION
DIAN	0-0,9	0,3	2,1	moyen
MOURSI	0,1-0,5	0,3	1,5	"
DANGA	0-0,6	0,2	2,2	haut
DANGA/ SENO	0,1-0,2	0,2	2,9	"

Tableau 6b Horizon 20-40cm

SOL	INTERVALLE	MOYENNE K ech meq	K/CEC %	INTERPRETATION
DIAN	0,1-0,8	0,2	0,9	Bas
MOURSI	0-0,4	0,2	1,2	"
DANGA	0,1-0,5	0,2	1,4	"
DANGA/ SENO	0,1-0,2	0,1	1,3	"

C H A P I T R E I I I
F E R T I L I S A T I O N D U R I Z I R R I G U E

Introduction : le riz est la céréale la plus cultivée dans le monde après le blé et constitue de ce fait la base de l'alimentation de toute l'Asie du sud et sa consommation ne cesse de s'étendre.

Le riz appartient au genre *Oryza* L, de la tribu des Oryzées, de la famille des graminées.

Cette tribu est caractérisée par des épillets à fleurs fertiles ayant 6 étamines, des glumes rudimentaires et une glumelle supérieure à 3 nervures.

Tous les riz cultivés appartiennent à deux espèces : *Oryza glaberrima* encore existant dans sa région d'origine (le delta central Nigérien), et *Oryza sativa* originaire du sud-est asiatique.

Le riz est une plante annuelle à chaume dressé ou flottant disposé par touffe à racines fibreuses. Par tallage, il naît de chaque grain germé une touffe de quelques chaumes abondamment feuillis dans leur jeune âge, pour atteindre une hauteur variant entre 0,5 m et 6 m selon les espèces et les variétés.

Les conditions écologiques de la production rizicole sont extrêmement diverses de part le monde. Le riz est une plante particulièrement plastique que l'on cultive de l'équateur jusqu'à plus de 45° de latitude nord, du niveau de la mer jusqu'à 1 500 m d'altitude et plus. Il s'adapte aux conditions édaphiques les plus variées.

En riziculture, la fertilisation a plusieurs objectifs :

- éviter les carences ou déficiences des sols en certains éléments (majeurs et mineurs) et rétablir entre eux un rapport d'équilibre pour leur utilisation ;
- accroître le potentiel global de Fertilité du sol ;
- compenser les exportations d'éléments par les récoltes.

Le choix des formules de fumure dont la détermination résulte généralement d'expérimentations en plein champ doit correspondre à un compromis entre l'accroissement maximum de rendement obtenu et la rentabilité de la fumure appliquée.

pour cela, on a recherché les relations existantes entre les rendements et la composition chimique du sol et celles existantes entre la composition de la plante, les apports fertilisants et les rendements obtenus.

Pour le premier cas, des échelles régionales de fertilité ont été élaborées dans divers pays. Pour le second cas, on a procédé à la détermination de la teneur en éléments fertilisants de la plante ou des divers organes de la plante par des analyses (analyse totale de la plante, analyse d'un ou plusieurs organes, analyse du grain, analyse de la sève).

Connaissant cette teneur et sa corrélation avec les rendements obtenus, on peut espérer pouvoir déterminer les niveaux de Fertilité du sol et par voie de conséquence les besoins en engrais et les volumes de production possible.

D'après André Angladette, le seuil de carence en azote dans la feuille paniculaire du riz se situerait à moins de 0,25 % de la matière sèche.

Celui du phosphore se situerait vers 0,18 % de la matière sèche. Dans la paille de riz, les teneurs critiques sont : N = 0,5 % ; P₂O₅ = 0,1 % ; K₂O = 0,1 % , SiO₂ = 0,2 % ; MgO = 0,1 %.

L'effet de la fumure du riz est influencé par un certain nombre de facteurs dont les plus importants sont :

- les variétés et le type au quel elles appartiennent ;
- la forme sous laquelle sont apportés les éléments fertilisants et leur assimilabilité ;
- les modalités d'apport des engrais et le mode de placement compte tenu de l'état hydrique de la rizière et de la nature des sols ;

- les époques d'épandage et le mode de fractionnement des épandages.

A. FERTILISATION ORGANIQUE DU RIZ :

Les types de matière organique utilisés en riziculture s'expriment en terme de disponibilité et de qualité. certains effets de la matière organique sur le rendement et le développement du riz sont bien connus. Les meilleurs résultats sont obtenus par l'utilisation simultanée de la matière organique et des engrais minéraux.

En riziculture, les principaux engrais organiques utilisés sont : la paille de riz, le fumier de ferme, les engrais verts et le son de riz.

1. La paille de riz : la source de matière organique la plus disponible en riziculture est la paille de riz. Sa contribution à la Fertilité du sol dépend de sa quantité, de sa composition, de son administration et du régime hydrique du sol. De même, son effet sur le rendement du riz dépend de la gestion de sa quantité, du sol, des engrais, de l'époque et la durée de l'application. Le mécanisme de cette action sur les rendements est attribué à un des facteurs suivants :

- augmentation de la fourniture de l'azote ;
- mode de libération de l'azote ;
- augmentation de la fourniture d'autres éléments nutritifs ;
- amélioration de la structure du sol.

De nombreux essais d'enfouissement de la paille de riz ont donné de bons résultats. Ainsi au Sénégal, l'incorporation de 6 t/ha de paille sur sol argileux a produit un rendement supplémentaire de 1,1t/ha de paddy par rapport à la paille exportée (Beye 1974). De même, dans un sol argileux acide non fumé, pauvre en phosphore, l'incorporation de la paille a donné 2,1t/ha contre 1,7t/ha de paddy pour un témoin ou la paille a été exportée (IRRI, 1982).

Comme précédemment dit, l'action de la paille est maximum lorsqu'elle est utilisée en même temps que le complément minéral. Ainsi, Oh (1979), dans un essai de 3 ans en Corée a trouvé que lorsque la quantité de paille enfouie augmente de zéro à 8t/ha en présence de 80 N/ha, les rendements du riz s'accroissent d'une tonne/ha. Dans le même ordre d'idée, Tanaka (1974) rapporte que l'application de 8t/ha de paille avec le complément minéral NPK, améliore le rendement du paddy de 4,5t à 6t/ha.

Au Mali des études menées en 1984 par la cellule AGP de Sotuba ont prouvé que l'enfouissement de 10t/ha de paille de riz a un effet très positif sur les rendements qui s'attenuent rapidement avec l'augmentation des doses d'azote (750 kg/ha de paddy si l'on ne met pas d'azote). Au delà de 150 unités d'azote, cet effet peut être considéré comme nul.

En ce qui concerne l'influence de la quantité de paille, il semblerait qu'au moins à partir de 50 unités N l'effet de cette paille sur le rendement paddy soit le même que ce soit la paille produite sur place (6 à 10/ha) ou un enfouissement systématique de 10t/ha de paille.

2. Le Fumier de Ferme : dans les régions tropicales, la rareté du fumier de ferme est telle que celui-ci est peu utilisé en riziculture. Dans les régions tempérées ou subtropicales, son utilisation est plus fréquente.

3. Les Engrais Verts : la difficulté dans le cas de la riziculture est de disposer de légumineuses adaptées au milieu très particulier de la rizière. Les engrais verts sont à action rapide du fait de leur rapport C/N s'établissant entre 10 et 15. Incorporés au sol, avec suffisamment d'eau, ils se décomposent rapidement fournissant de l'azote assimilable par les plants de riz. Leurs effets dépendent non seulement des espèces utilisées, mais également des conditions de leur culture et de l'âge de leur enfouissement. Les espèces les plus fréquemment utilisées en riziculture sont les légumineuses : *Crotalaria juncea*, *Vigna sinensis*, *Sesbania aculeata*, etc...

En dehors des légumineuses, d'autres plantes peuvent servir d'engrais verts en riziculture. C'est le cas de l'*Azolla*.

4. Le son de riz : des essais systématiques effectués à l'Office du Niger ont montré que le son de riz, sous-produit de rizerie fournit un accroissement de rendement important, mais plus faible que l'apport du sulfate d'ammoniaque (voir tableau 7).

Tableau 7 : Résultats des essais effectués à l'Office du Niger sur le son de riz.

Traitements	Rendement paddy (kg/ha)
Sulfate d'ammoniaque (150 kg/ha)	2601
Sulfate d'am. (75 kg/ha) + son de riz 200 kg/jgha)	2615
Son de riz (1 500 kg/ha)	2160
Témoin	1803

Source : Angladette André (1966).

B. LA FERTILISATION MINERALE DU RIZ :

Comme la plupart des cultures, les principaux éléments importants sont : l'azote, le phosphore et le potassium.

1. Azote :

L'azote est l'élément le plus important. Il peut être fourni sous-forme minérale (engrais azotés minéraux), soit sous forme organique (engrais verts, son de riz, tourteaux, etc...).

Les engrais minéraux peuvent être regroupés en deux catégories :

- Forme nitrique (nitrate de chaux, nitrate d'ammoniaque, etc...).

- forme ammoniacale ou voisine (sulfate et phosphate d'ammoniaque, chlorure d'ammonium, urée, etc...). De nombreux essais ont montré la supériorité de l'azote ammoniacal par rapport à l'azote nitrique.

L'azote favorise le tallage et la croissance végétative du riz. Une carence d'azote réduit les rendements du riz, alors qu'un excès prolonge le cycle, peut causer la verge, l'égrainage et rend le riz sensible à la pyriculariose. Un apport d'azote a plus d'effet en début tallage, puis environs deux semaines avant l'épiaison, car il serait absorbé pour 25,9 % de la levée au début tallage, 72,8 % du tallage à la floraison et seulement pour

1,5 % de la floraison à la maturité. D'où l'intérêt du fractionnement de cet élément.

Au Mali on conseille 3/8è au tallage et 5/8è à l'initiation paniculaire (montaison). La dose conseillée pour les pailles courtes est de 120-150 N/ha et 80 N/ha pour les pailles longues.

Il est à noter que l'azote minéral joue un rôle capital dans la décomposition de la paille dans le sol. En effet la quantité d'azote nécessaire pour la décomposition de la paille varie de 0,5 à 1,6 % du poids de la paille enfouie (Sylvestre G et al 1951).

2. Le phosphore :

L'acide phosphorique est apporté au riz soit par les phosphates naturels, soit par les engrais phosphatés solubles. L'efficacité comparée des divers engrais phosphatés dépend de leur solubilité et de leur finesse ; mais aucune différence significative n'a été constatée entre les différentes formes d'engrais. Le phosphore joue un rôle important dans la croissance du système racinaire du riz et agit favorablement sur sa précocité. Une carence en phosphore entraîne chez le riz une coloration vert sombre ou bleue des feuilles dont les pointes deviennent rouges. Le riz répond peu à la fumure phosphatée. Le phosphore est utilisé comme engrais de fond avant le semis ou le repiquage. Les doses préconisées pour la riziculture irriguée varient de 60 à 100 P2O5/ha (cours agronomie).

3. Le Potassium :

le potassium permet une bonne économie de l'eau dans les tissus. Il augmente la taille et le poids des grains. il confère aux plantes une certaine résistance aux maladies et à la verse.

L'efficacité du potassium sur le riz est généralement faible ou même nulle surtout si l'on enfouie la paille qui en contient 80 %. Actuellement les engrais potassiques ne sont pas utilisés en riziculture irriguée au Mali. D'autres éléments peuvent jouer un rôle important dans la fertilisation du riz. C'est le cas notamment du soufre, du calcium, du fer, du magnésium, du zinc, du silicium, etc...

En conclusion une formule de fertilisation minérale équilibrée régénère beaucoup de matière organique et augmente ainsi les disponibilités en cet élément.

C H A P I T R E I V
E T U D E E X P E R I M E N T A L E

INTRODUCTION :

Les premiers travaux menés sur la fertilisation du riz irrigué étaient beaucoup basés sur l'utilisation des engrais minéraux. Dans le souci de la mise au point de techniques de fertilisation économiques et ciblées, la recherche agronomique a initié un programme basé sur l'enfouissement de la paille de riz produite sur place pour maintenir et améliorer la Fertilité des sols et des rendements du riz. C'est ainsi qu'un premier test est implanté depuis 1981 pour suivre l'évolution de la Fertilité du sol et des rendements pendant de nombreuses années. Avec le développement des petits périmètres et le réaménagement d'anciennes parcelles favorisant l'intensification de la riziculture qui utilise les variétés en général exigeantes, il est apparu nécessaire de procéder à une évaluation de l'impact du système de double culture sur la Fertilité des sols. C'est dans ce cadre qu'un second test a démarré en 1988 pour suivre l'évolution de la Fertilité du sol et des rendements dans un système de double culture.

A. Matériels et méthode :

1. Test 1 : Ce test simple est implanté sur la Station de Kogoni sur un vertisol topomorphe non grumosolique aménagé pour irrigation (tableau 8).

Tableau 8 : Caractéristiques du site.

PH	EC mmhos	C %	N %	P-total ppm	CEC meg/100g	A %	L %	S %
5,2	0,15	0,66	0,06	205	18,5	53	18,5	28,2

Le semis se fait en lignes continues distantes de 30 cm. Trois niveaux de fertilisation minérale combinés à trois niveaux de restitutions organiques constituent les neuf traitements testés dans un dispositif non statistique sans répétition.

Les trois niveaux de la fertilisation minérale sont :

- Fo = pas d'engrais
- F1 = 50 N/ha
- F2 = 100 N/ha + 30 P2O5/ha

Ceux de la restitution organique sont :

- Mo = pas de matière organique
- M1 = enfouissement de la paille produite
- M2 = 5t/ha de fumier.

Tableau 9 : Traitements mis en comparaison.

Matière organique	Fertilisation minérale		
	F0	F1	F2
M0	T1	T2	T3
M1	T4	T5	T6
M2	T7	T8	T9

(source : rapport commission technique SRCVO 1991)

La variété utilisée est IR8.

La quantité de paille produite varie en fonction du niveau de la fumure minérale. Pour permettre un bon enfouissement de cette paille (T4 ; T5 et T6), le labour est fait à la charrue à soc suivi d'un hersage et d'un pulvérisage.

Le phosphore est apporté sous forme de super simple et l'azote sous forme d'urée en deux apports 3/8è au tallage et 5/8è à l'initiation paniculaire. Les dimensions parcellaires sont 10 m x 10 m dont 36 m² constituent la parcelle utile.

2. Test 2 : ce test est implanté à la Station de Kogoni sur un vertisol topomorphe aménagé pour irrigation (tableau 10). Ici on pratique le repiquage aux écartements de 25 cm x 25 cm au lieu du semis direct. On y applique la double culture (hivernage et contre-saison). Comme le précédent, cet essai comporte trois niveaux de fertilisation minérale combinés à trois sources de restitution de la matière organique (tableau 11).

Ainsi ces différentes combinaisons factorielles constituent neuf traitements comparés dans un dispositif en bloc de fisher à quatre répétitions. Les parcelles élémentaires ont 6 m x 10 m soit 60 m². La récolte est effectuée sur les lignes centrales en éliminant deux de chaque côté soit une surface utile de 8,75 m x 4,75 m = 41,56 m².

Au départ l'essai avait les mêmes niveaux de fertilisation minérale et organique ; mais au vue des niveaux assez faibles de rendements obtenus les premières années, la fertilisation minérale a été amenée à un niveau conforme au système de repiquage. A partir de la contre-saison 1991 cette fertilisation minérale est la suivante :

- F0 = sans engrais
- F1 = 90 N/ha + 45 P2O5/h
- F2 = 150 N/ha + 60 P2O5/h + 30 K2O/ha.

Le phosphore est apporté sous forme de super simple, l'azote sous forme d'urée en 2 apports dont 3/8è au tallage et 5/8è à l'initiation paniculaire et le potassium sous forme de chlorure ou de sulfate.

Tableau 10 : caractéristiques physico-chimiques de l'échantillon moyen.

pH	C %	N %	P total ppm	CEC meg/100g	A %	L %	S %
5,5	0,51	0,07	220	18,4	53	19	28

Source : rapport commission technique SRCVO 1991.

Tableau 11 : Traitements mis en comparaison

Matière Organique	Fertilisation minérale		
	Fo	F1	F2
Mo	T1	T2	T3
M1	T4	T5	T6
M2	T7	T8	T9

Source : rapport commission technique SRCVO 1991.

B. RESULTATS ET DISCUSSIONS :

Le travail consistait à collecter, à analyser et à interpréter les données disponibles sur le rendement paddy du test1.

Les résultats obtenus sur 8 ans de 1985 et 1993 figurent dans le tableau 12 et fig.1. Les rendements moyens sont bons (5024 kg/ha). Ils sont donnés à 14 % d'humidité. En 1990 avec le changement de système à savoir repiquage avec pépinière dapog de la BG 90-2, les rendements ont chuté. C'est pourquoi ces résultats ont été supprimés de notre analyse. Nous avons pris les années comme des répétitions dans l'analyse factorielle des données. Les résultats de l'analyse de variance sont consignés dans les tableaux 12 et 13.

Tableau 12 : Moyennes sur 8 ans du rendement paddy.

Traitements	Poids paddy en kg/ha
T1 = MoFo	2687 E —
T2 = MoF1	3955 C - 1268
T3 = MoF2	5999 A - 3312
T4 = M1Fo	3540 D - 853 -
T5 = M1F1	5024 B - 2337 -
T6 = M1F2	6006 A - 3319 -
T7 = M2Fo	5184 B - 2494
T8 = M2F1	6452 A - 3721
T9 = M2F2	6371 A - 3624
Signification Matière organique	HS
Fert. minérale	HS
Interaction	HS
CV %	8,5 %

Les chiffres suivis de la même lettre sont statistiquement équivalents au seuil de 5 % suivant le test de Newman et Keuls.

On note un effet significatif pour les facteurs matière organique et la fertilisation minérale et une inter-action hautement significative entre les restitutions organiques et la fertilisation minérale (fig.2 et fig.3).

Le traitement 5t/ha de fumier + 50 N/ha arrive en tête de classement suivi des traitements 5t/ha de fumier + 100 N/ha + 30 P2O5/ha, paille produite + 100 N/ha + 30 P2O5 et 100 N/ha + 30 P2O5/ha lesquels ne diffèrent pas statistiquement ; mais ils sont tous supérieurs aux autres traitements.

Le fumier épandu à la dose de 5t/ha sans engrais est équivalent à la paille enfouie avec 50 N/ha.

On note un effet matière organique très net sur les rendements avec la faible dose de fertilisation minérale (fig.2). Cet effet diminue avec la forte fertilisation minérale (fig.3).

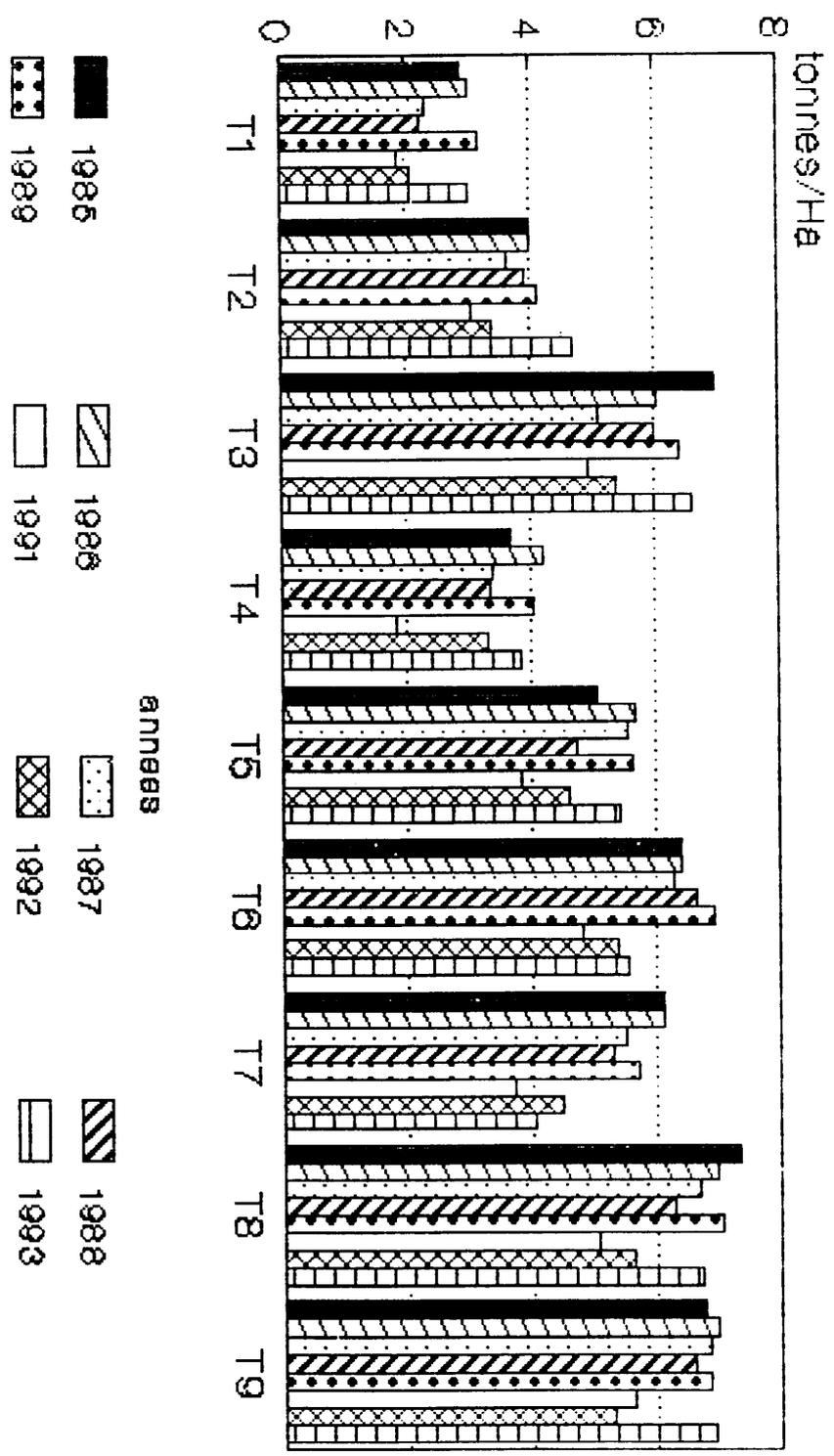
De même, les fig.4 et fig.5 montrent l'effet de la fertilisation minérale sur les rendements en présence de la paille produite et du fumier.

Tableau 13 : Rendement paddy en kg/ha

Années <u>Trait.</u>	1985	1986	1987	1988	1989	1991	1992	1993	Moyen ne
T1	2903	3014	2305	2236	3167	1861	2069	3019	2628
T2	4014	3986	3639	3917	4097	3042	3375	4689	3955
T3	6972	6014	5083	5972	6417	4944	5375	6603	5999
T4	3653	4208	3403	3333	4028	1847	3319	3836	3540
T5	5069	5680	5528	4722	5625	3819	4625	5417	5024
T6	6417	6403	6264	6639	6944	4806	5375	5556	6006
T7	6125	6097	5486	5292	5722	3694	4486	4022	5184
T8	7319	6958	6694	6278	7042	5069	5611	6744	6452
T9	6750	6972	6861	6611	6861	5625	5292	6944	6371

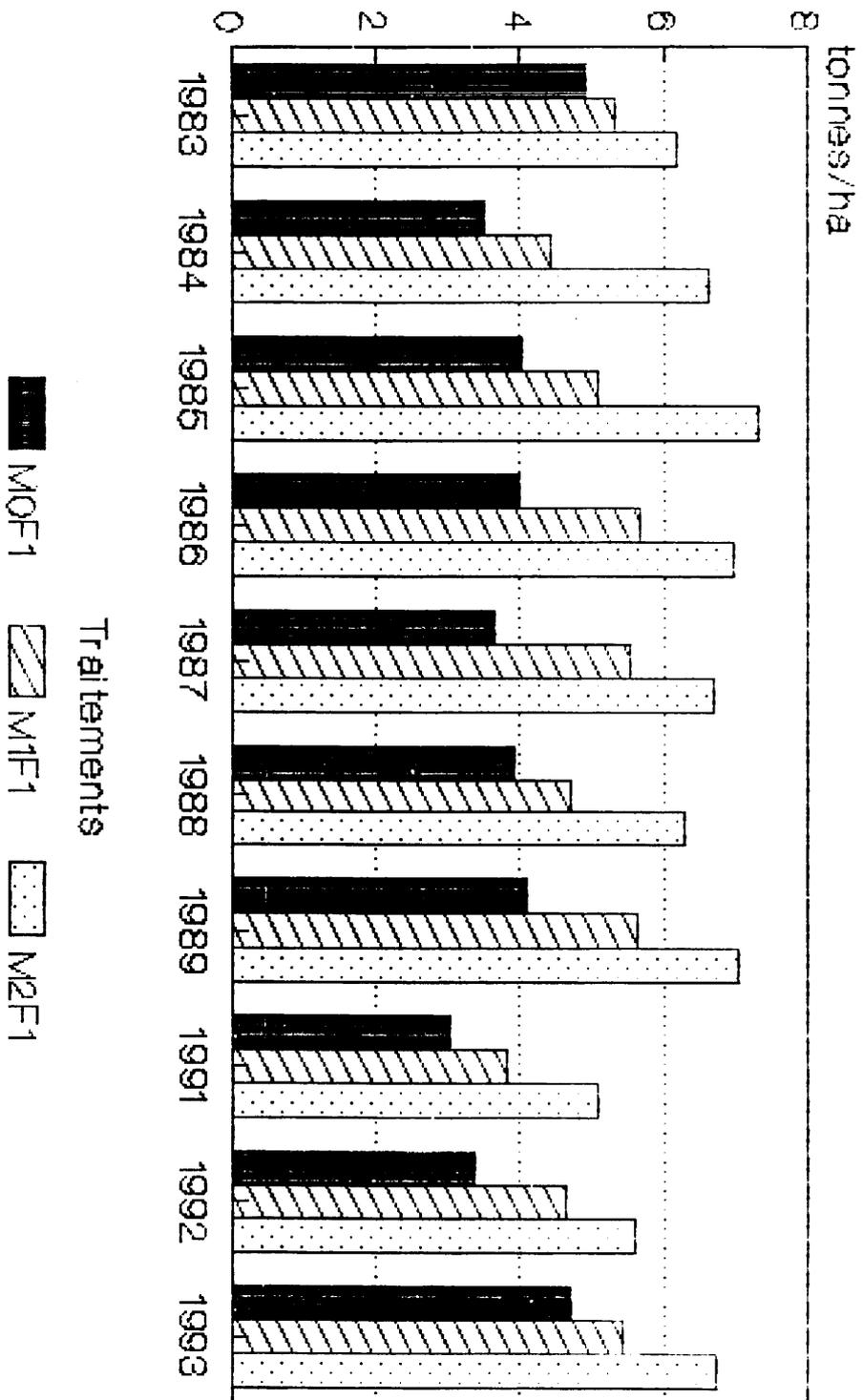
19 90

Fig1 Resultats pluriannuels Rendement paddy en tonnes/ha



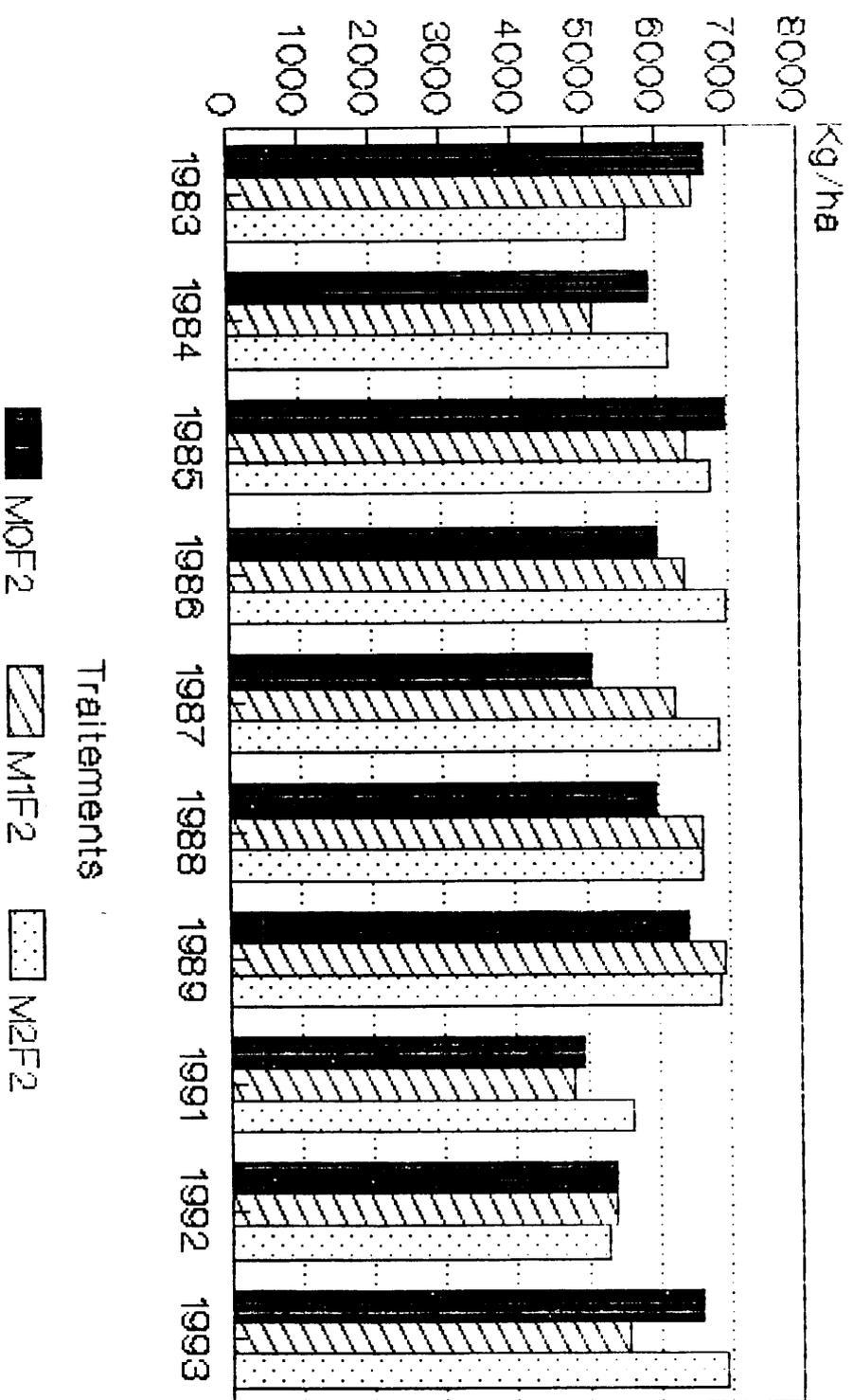
TEST1

Fig.2 Effet matere organique en presence d'une faible Fertilisation minerale sur le rendement paddy



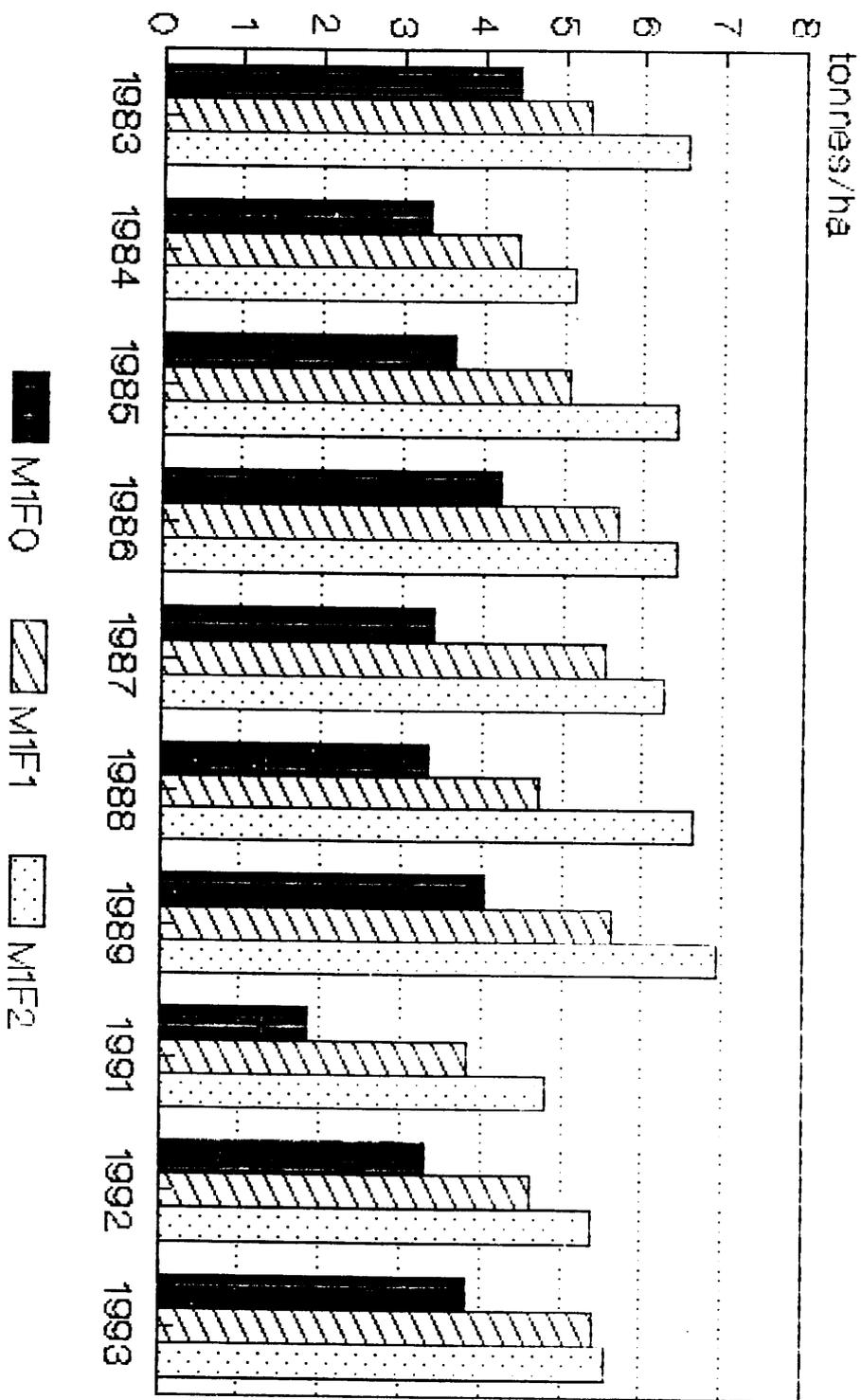
Tashi

Fig.3 Effet matiere organique en presence d'une forte Fertilisation minerale sur le rendement paddy



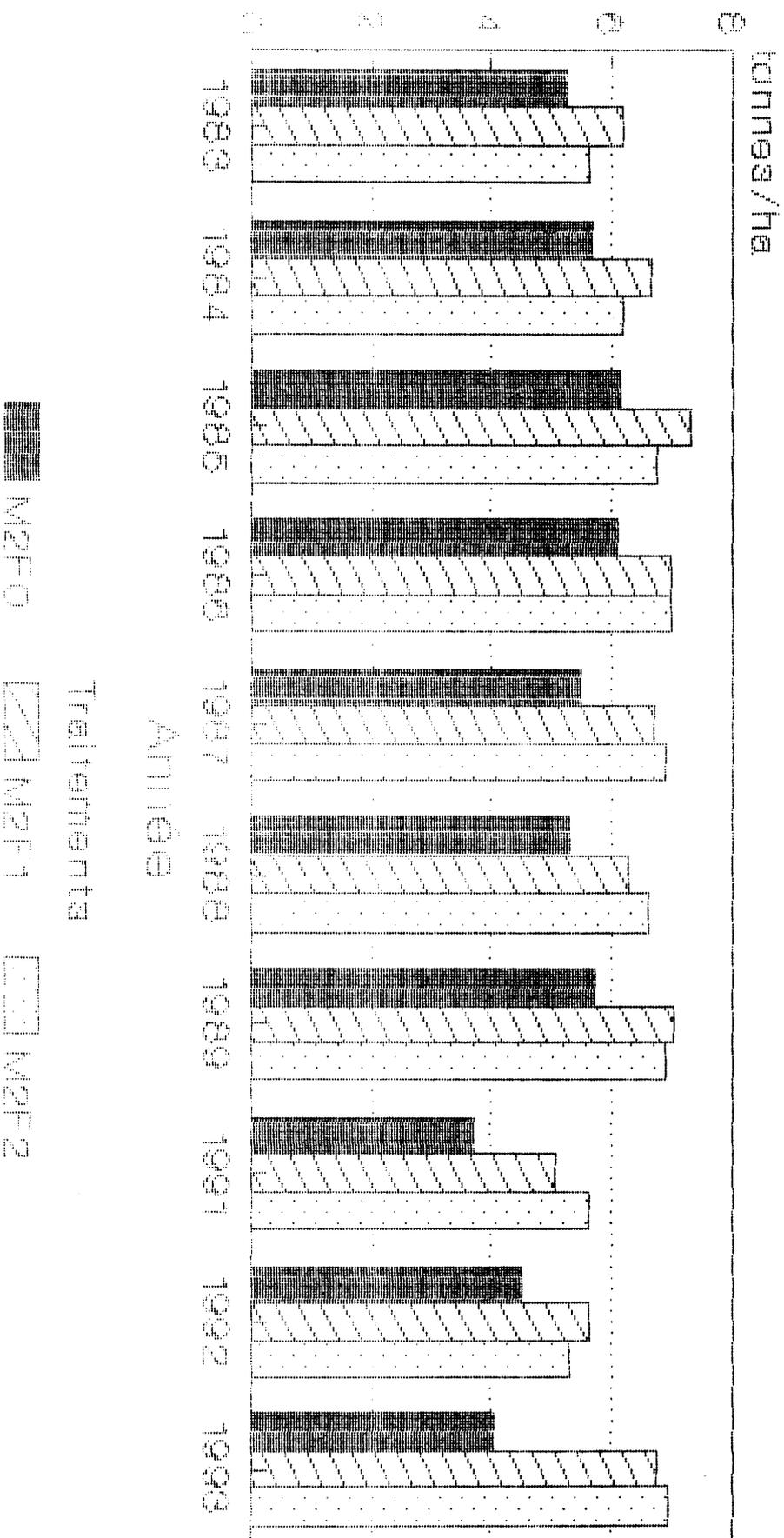
Traitements

**Fig.4 Effet fertilisation
minérale en presence de la
paille enfouie sur le rendement paddy**

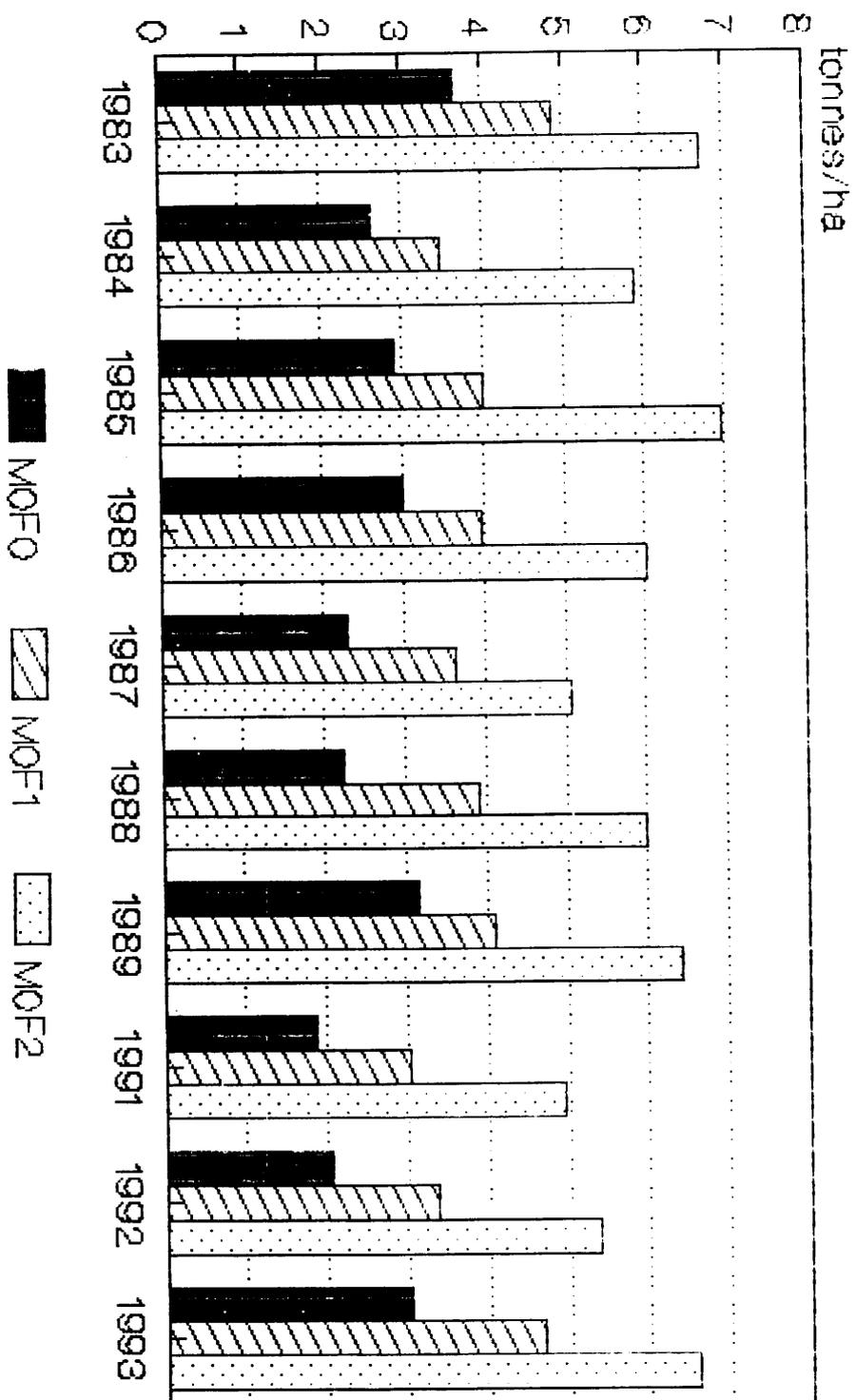


TASTI

Fig.5 Eftet Fertilisation minérale en présence de 5t/ha de fumier



**Fig.6 Effet de la fertilisation
minérale sur le rendement
paddy**



Tonnes/ha

C. SUIVI AGRONOMIQUE :

Il s'agissait de suivre sur le terrain le test d'évolution de la Fertilité du sol sous riziculture intensive en contre saison chaude.

1. Conduite de la pépinière :

Après déchaumage et piochage à la daba, la pépinière a été mise en boue et semé le 12/2/93 après prégermination des sémences. La levée a été bonne dans l'ensemble. La variété utilisée est la TN1 dont les caractéristiques agronomiques sont :

- cycle semi-maturité : 120 jours
- hauteur moyenne des plants : 85 cm
- port de la plante : érigé
- tallage : assez bon
- feuille : large, verte
- poids 1000 grains : 23 g
- Aristation : mutique
- productivité : 4t/ha
- grains courts (7,4 mm, type Japonica).

Le développement des plants a été ralenti en pépinière par les basses températures en début de végétation et l'absence de fertilisation. De telle sorte que le repiquage au lieu d'intervenir 21 jours après le semis de la pépinière l'a été plus tard avec des plants encore nains (12,24 cm de hauteur moyenne après 32 jours).

La pépinière était irriguée à la demande.

2. Préparation du lit de sémence et repiquage :

Après déchaumage la parcelle a été mise en eau pendant une semaine pour permettre d'effectuer le labour. après le labour avec enfouissement de la paille dans les T4, T5 et T6, nous avons procédé au piquetage, au compartimentage et à la confection des drains, sous-arroseurs et des diguettes. Ensuite nous avons plané les parcelles et épandu le fumier à raison de 30 kg/parcelle. Après la mise en boue le repiquage a été fait aux écartements de 25 cm x 25 cm avec 3 à 4 brins/poquet. La fertilisation minérale de fond a été appliquée le même jour.

L'irrigation de l'essai se fait à la demande. Les différentes dates d'interventions sont consignées dans le calendrier agricole (Annexe I)

3. Les Observations :

Pendant cette période elles ont porté sur les différents stades phénologiques, les mensurations, l'aspect de la végétation et le comptage du nombre de tailles/m².

On a constaté une reprise difficile dans les T6, T5 et T4 et un bel aspect végétatif dans les T9, T8, T7 et T3 en début de végétation.

Au total quatre mensurations ont été faites aux intervalles d'une semaine. L'analyse de variance de ces quatre mensurations a prouvé une différence hautement significative entre les traitements, mais pas d'interaction sauf à la 2^e mensuration. Dans le classement de la matière organique, le fumier vient en tête dans tous les cas suivi du témoin. Dans le classement de la fertilisation minérale, la forte dose arrive en tête suivie de

la faible dose. Tous ces résultats sont consignés dans les tableaux 14 et 15. Toutes les comparaisons de moyennes ont été faites avec le test de NEWMAN et KEULS au seuil de 5 %. Les chiffres suivis de la même lettre ne sont pas statistiquement différents.

En ce qui concerne le nombre de talles/m², l'analyse de variance montre une différence hautement significative entre les traitements, mais l'interaction n'est pas significative (tableau 14). Le fumier et la forte dose de fertilisation minérale viennent toujours en tête de classement.

Conclusion : d'une façon générale, on note un effet dépressif de la paille enfouie sur le développement des plants au début de la végétation (démarrage difficile sur les traitements ayant reçu la paille. Le nombre de talles/m² semble surmonter cet effet dépressif.

Tableau 14 : Résultats d'analyse de variance des hauteurs moyennes et du nombre de talles/m²

Variables Trait.	1ere mens. (cm)	2e mens. (cm)	3e mens. (cm)	4e mens. (cm)	Nbre de talles/m ²
M0	21,48 B	29,32	38,61 B	42,48 B	150 B
M1	19,02 C	26,63	36,61 C	40,58 C	149 B
M2	23,88 A	32,22	42,23 A	46,57 A	213 A
F0	21,07 B	27,83	36,38 C	40,04 C	132 C
F1	20,45 B	28,78	38,72 B	42,38 B	174 B
F2	22,88 A	31,55	42,35 A	47,21 A	205 A
Significat					
Mat.org.	HS	HS	HS	HS	HS
Fert.Min.	S	HS	HS	HS	HS
Interact.	NS	S	NS	NS	NS
CV %	9,6	5,9	5,6	5	18,5

Tableau 15 : interaction matière organique x fertilisation minérale

hauteurs moyennes 2è mensuration

Fertilisat. Minérale	Matière organique		
	M0	M1	M2
F0	28,25	24,80	30,45
F1	27,47	27,95	30,92
F2	32,22	27,15	35,27

CONCLUSION - SUGGESTIONS

On peut retenir de l'analyse des données de ces 8 dernières années les points suivants :

- la paille produite enfouie seule améliore les rendements paddy. Elle a permis l'obtention de 853 kg/ha de paddy de plus que le témoin absolu.

- cet effet paille est très net lorsque la paille est associée à la faible dose de la fertilisation minérale (50 N/ha) ; mais il s'atténue avec la forte dose de la fertilisation minérale (100 N/ha + 30 P2O5/ha) bien que le haut rendement soit obtenu par ce traitement. Ce résultat confirme celui de l'essai "Rôle spécifique de la matière organique" conduit de 1972 à 1982.

- l'effet fumier suit la même allure que celui de la paille produite enfouie ; mais, semble meilleur. Le traitement avec fumier seul a produit 2497 kg/ha de paddy de plus que le témoin absolu.

- quelque soit la source de matière organique, on note un effet fertilisation minérale. L'interaction est hautement significative. La fertilisation minérale améliore l'efficacité de la matière organique.

A la lumière de ces résultats, la formule qui peut être conseillée est l'utilisation de 50 N/ha associés soit à 5t/ha de fumier, soit à la paille produite.

Compte tenu de l'instabilité des rendements, cette conclusion doit être retenue avec réserve et l'essai doit continuer pour confirmation.

En ce qui concerne l'autre variante du problème c'est à dire l'évolution de la Fertilité du sol, une synthèse des résultats d'analyse des échantillons de sol doit être faite pour savoir l'effet des différents traitements sur les réserves du sol en éléments fertilisants.

BIBLIOGRAPHIE :

- Angladette André : (1966), LE RIZ, Limoges (France)
- BAGAYOKO M. Martinet J.F. et TRAORE A. (1984), Effet des pailles de riz enfouies et de l'azote sur les rendements du riz et les propriétés chimiques du sol en culture de riz irrigue à Kogoni.
- BEAU : Rapport d'étude, Université Agricole Wageningen (1981)
- Breteudeau A. (1991) : cours de phytotechnie, IPR KATIBOUGOU.
- COULIBALY Macky : Etude de la Fertilité des sols du projet Retail
(mémoire de fin d'études ENSUP) 1988.
- Dabin B. : "Alimentation minérale du riz à l'Office du Niger", Agronomie tropicale, Tome VI 1951, p = 507 - 513.
- Dabin B. : "les Problèmes de l'utilisation des sols de l'Office du Niger", Agronomie tropicale, Tome X, 1955, p = 811.
- DEMBELE Issa (1992), cours de pédologie, IPR KATIBOUGOU.
- GROS André : (1974), Guide pratique de la fertilisation France
(6e édition).
- Henin (S) et Betremieux (R) "Etude de l'évolution des matières organiques dans le sol", Agronomie tropicale Tome VI 1951, p = 92.
- INRA : (1963), Annales Agronomiques, Vol = 14, No1, p = 5-10
- INRA : (1963), Annales Agronomiques, Vol = 14, No6, p = 885.
- IRAT : (1967), Colloque sur la Fertilité des sols tropicaux
Tome I.
- IRRI : (1984), Organic matter and rice.
- N'DIAYE M. K. : Evaluation de la Fertilité des sols de l'Office du Niger thèse) INP Toulouse 1987.
- KEITA B., Kounkandi B., DIARISSO D., DIONI L., (1991) Etude morpho-pédologique du Kala inférieur, SRCVO.
- Pedro A. Sanchez (1976), Properties and Management of sols in the tropic, North Carolina states University USA p = 174

- Roche (P) Vally (J) et Joliet (D) "Fertilisation des sols de rizière dans la région du lac Allaotra (Madagascar)", Agronomie tropicale, Tome X, 1955, p = 655.
- SAMAKE Fafre (1991), Cours d'agrochimie, IPR KATIBOUGOU.
 - SRCVO (1981-1992) Rapports commissions Techniques, doc. AGP.
 - Station de Kogoni (1981 - 1992) cahiers d'observations des Test1 et Test2.
 - TRAORE M. F. (1973), Séminaire sur la fertilisation des sols rizicoles et utilisation des engrais, ADRAO.
 - TRAORE Mamadou, Etude comparative de la réponse de deux types de sol (Moursi - Danga) à la fumure phospho-potassique dans le cadre de la recherche d'une fumure optimale en riziculture intensive à l'Office du Niger (Mémoire de fin d'études) IPR Katibougou 1991
 - W. J. Veldkamp (1991) quelques réflexions sur la fertilisation et l'aménagement des sols de l'Office du Niger.
 - W. J. Veldkamp, A. TRAORE, M. K. N'DIAYE, KEITA M. K., KEITA B. et BAGAYOKO M., Fertilisation des sols du Mali, Mali-sud/Office du Niger. Interprétation des données analytiques des sols et des plantes (1991).

/-) N N E X E

CALENDRIER AGRICOLE

Opérations Culturelles	Dates
Semis de la pépinière	12/2/93
Labour de la parcelle d'essai-----	1 et 3/3/93
Piquetage-----	4 et 8/3/93
Compartimentage et confection des drains, sous arroseurs et diguettes-----	9/3/93
Planage du lit de semence-----	10/3/93
Epannage du fumier et mise en eau-----	11/3/93
Mise en boue de la parcelle-----	12/3/93
Repiquage et apport de PK-----	16/3/93
1er apport d'urée-----	9/4
1re mensuration (10 plants/parcelle)-----	6/4
2e mensuration (" " ")-----	13/4
1er désherbage manuel de BI et BII-----	19/4
2e " " BIII et BIV-----	20/4
3e mensuration-----	20/4
4e " et comptage du nbre de talles/m2-----	26/4

Stades Phénologiques

Levée bonne-----	20/2/93
Reprise effective après repiquage-----	25/3/93
début tallage-----	6/4