

SOMMAIRE

SOMMAIRE	1
REMERCIEMENTS.....	3
RESUME	5
I - INTRODUCTION.....	7
1 - Généralités sur la région	7
2 - Contexte.....	7
3 - Objectif	9
II - MATERIELS ET METHODES	9
1 - Zone d' Etude	9
11 - Localisation	9
12 - Choix de la zone d'étude	9
13 - Caractéristiques	9
131 - Topographie.....	9
132 - Sol.....	10
133 - Climat	10
134 - Eau d'irrigation	12
135 - La végétation	12
2 - Les exigences et la variété du riz.....	12
21 - Exigences du riz	12
22 - Variété du riz	14
3 - Méthodologie.....	14
31- Expérimentations au champ.....	15
311 - Courbes de réponse en NPK.....	15
312 - Evaluation globale de la fertilité du sol à cultiver.....	15
313 - Essai factoriel	15
32 – Analyse au laboratoire	15
321 - Analyse des végétaux	15
322 - Analyse du sol	15
33 - Analyse économique et évaluation de la rentabilité des engrais.	15
III - RESULTATS, ANALYSES ET INTERPRETATIONS	15
A - LES COURBES DE REPOSE EN N P K	15
1 - Matériel et méthode.....	16
11 - Dispositif expérimental	16
12 - Traitements	16
13 - Conduite de l'expérimentation.....	17
2 - Résultats	18
21 - Rendement moyen en paddy sec à 14% d'humidité (t/ha).....	18
22 - Courbes de réponse.....	18
3 - Analyse et interprétation des résultats	19
4 - Conclusion.....	21
B - EVALUATION DE LA FERTILITE DU SOL A CULTIVER	21
1 - Dates de réalisation des opérations culturales	22
2 - Rendement	22
3 - Interprétations et conclusion.....	22
C - ESSAI FACTORIEL	22
1 - But de l'expérimentation	22
2 - Matériel et méthode	23

21 - Dispositif expérimental et traitements étudiés	23
22 - Conduite de l'expérimentation	23
3 - Dates des opérations culturales	23
4 - Observation de la végétation en cours de culture	23
5 - Résultats, analyse et interprétation	24
51 - Dates de passage de la plante aux différents stades phénologiques	25
52 - Opérations effectuées en cours de végétation	25
521 - Nombre de talles par touffe	25
522 - Nombre de talles stériles par touffe à la récolte	27
523 - Hauteur de la plante	28
524 - Production de matière sèche	30
525 - Indice de Surface Foliaire [ISF]	32
53 - Observations réalisées au moment de la récolte	34
531 - Rendements en grains de paddy secs à 14% d'humidité (t/ha)	34
532 - Rendement en paille sèche en t/ha au moment de la récolte	37
533 - Rendement de matière sèche totale (grain + paille)	38
534 - Liaison entre Rendement en paddy et Rendement en pailles	39
535 - Rapport Paille/Grain	40
536 - Indice de Récolte (IR %)	41
537 - Rapport longueur/largeur des grains de paddy	42
538 - Faculté germinative	43
539 - Composantes de rendement en grains de paddy	44
54 - Analyse des végétaux	48
541 - Le diagnostic foliaire	48
542 - Dosage des éléments nutritifs dans les feuilles	49
543 - Alimentation du riz	54
544 - Analyse des grains de paddy	60
545 - Les exportations minérales par les récoltes	62
546 - Conclusion	64
55 - Analyse de sol	64
551 - Analyse de sol avant la mise en place de la culture	64
552 - Analyse de sol après récolte	70
56 - Analyse économique	72
561 - Elaboration du budget partiel	72
562 - L'analyse marginale	73
563 - L'analyse de sensibilité	74
564 - Interprétation et conclusion	74
IV - CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	74
1 - CONCLUSIONS	74
2 - RECOMMANDATIONS	76
21 - Du point de vue agronomique	76
22 - Du point de vue économique	76
BIBLIOGRAPHIE	77
ANNEXES	81

REMERCIEMENTS

Grâce à la collaboration entre le projet WWF et la Faculté des Sciences de l'Université de Toliara, nous avons bénéficié d'une bourse d'étude de deux ans, en vue d'obtenir le Diplôme d'Etudes Approfondies en Biodiversité et Environnement.

De ce fait, nous adressons nos vifs remerciements :

- A Monsieur le Président de l'Université de Toliara, pour son appui à la formation sur la « Biodiversité et Environnement » ;
- Au projet d'appui à la formation doctorale de l'Université de Toliara qui a assuré les encadrements pédagogiques et techniques ;
- A la Faculté des Sciences de Toliara qui a programmé les études et qui nous a facilité les procédures administratives nécessaires à la bonne marche des études ;
- Au WWF pour la prise en charge de la plupart des frais d'étude et surtout pour ses importantes contributions sur le plan formation, concrétisées par l'intervention des différents "staff" et formateurs ;
- A la Direction Générale du FOFIFA qui nous a autorisé à suivre les études à l'université.

Nous tenons à exprimer notre vive gratitude aux membres de jury :

- Monsieur DINA Alphonse, Professeur Titulaire à la Faculté des Sciences de Toliara qui nous a fait le grand honneur de présider la soutenance de ce mémoire ;
- Monsieur RAZAFINJARA Aimé Lala, Responsable du Laboratoire Central de Pédologie du FOFIFA Antananarivo, Directeur de la Recherche au Ministère de l'Education Nationale et de la Recherche Scientifique, qui a accepté d'être parmi le membre du jury, malgré les grandes responsabilités qu'il assume. Notre reconnaissance s'adresse tout spécialement à lui pour sa bonne volonté à nous assister, encadrer et diriger avec sérénité et sincérité.
- Monsieur RAFENOMANANJARA Delphin, Maître de Conférence à la Faculté des Sciences de Toliara, qui a consacré ses temps précieux à nous encadrer et à corriger plusieurs fois le mémoire, pour ses conseils et recommandations dans la rédaction du mémoire ;
- Madame REJO-FIENENA Félicité, Maître de Conférence, Responsable pédagogique de la formation doctorale en Biodiversité et Environnement de Toliara, d'une part pour ses efforts méritoires à trouver les formateurs permettant de terminer à temps les cours relatifs à l'Aptitude aux Etudes Approfondies (AEA), d'autre part pour les directives éclairées et l'encouragement qu'elle a bien voulu nous prodiguer

Nous tenons également à exprimer nos sentiments reconnaissants respectivement à Madame le Directeur Scientifique et à Madame le Directeur Administratif et Financier du FOFIFA, sans l'appui et l'aide desquelles ce travail n'aurait pas vu le jour.

De même nous exprimons notre gratitude aux responsables de la documentation de la direction générale du FOFIFA et de la documentation du Département de Recherche Rizicole (DRR) qui nous ont donné toutes facilités et conseils pour l'utilisation de la documentation sur les recherches et expérimentations qui pourraient nous être utiles.

Nous apprécions énormément l'aide des différents techniciens du FOFIFA (laboratoire central de pédologie d'Antananarivo et agents de terrain du Centre Région de Recherche Sud et Sud Ouest, Toliara).

Nous voudrions souligner aussi combien importants ont été les encouragements et les conseils qui ont été prodigués à notre endroit par Madame le Chef de Département de Recherche Rizicole et les chercheurs du DRR d'Antananarivo.

Nous remercions les chercheurs du CRR de FOFIFA à Toliara pour les utiles discussions au cours de la préparation de cet ouvrage.

Notre grande reconnaissance va également:

- à notre famille (femme, enfants, frères et sœurs) pour les confiances, les sacrifices et les peines qu'elle s'est donnée pour notre réussite ;
- à tous les amis de la promotion ;
- à tous ceux qui, de près ou de loin, nous ont aidé et encouragé à la réalisation de ce travail.

Que toutes les personnalités qui nous ont aidé d'une manière ou d'une autre et dont les noms ont pu être omis soient assurées de nos sentiments reconnaissants.

RESUME

Dans la région sud ouest malgache, le riz contribue d'une façon importante à la sécurité alimentaire. Il est cultivé dans plusieurs périmètres de la région, grâce aux conditions climatiques favorables à la riziculture et au système hydrographique formé par les trois fleuves permanents (Mangoky, Fiherenana, Onilahy) et leurs affluents. Les riziculteurs ont convaincus des avantages que présentent les semences améliorées, mais, actuellement, les problèmes de qualité et de quantité constituent les facteurs bloquant le développement de leur utilisation. La présente étude se propose donc d'améliorer la production des semences du riz en agissant sur l'environnement minéral de la plante par apport des éléments fertilisants au sol des rizières.

Trois expérimentations ont été conduites sur le champ. Nous pouvons résumer ainsi les renseignements tirés de ces essais. Les courbes obtenues montrent qu'aucune des doses testées ne correspond pas à la dose optimale donnant le rendement maximum. Mais pour le moment, la dose de 90 kg d'azote/ha serait la dose optimale. L'apport de 60 kg de phosphore et de 60 kg potassium semble nécessaire. La fertilité du sol des rizières à cultiver apparaît meilleure que celle des autres sols. La fumure complète N P K est la plus avantageuse des formules de fertilisation étudiées. Ensemble, les facteurs N, P et K favorisent la croissance et le développement des plants sans provoquer la verse. Ils donnent le maximum de nombre de talles par touffe et le meilleur rendement en grains. Ils produisent le rendement en matière sèche le plus élevé. Leur combinaison n'a pas d'effet sur le rapport de la longueur et de la largeur des grains et sur le poids de 1000 grains. Après un examen des résultats de l'expérimentation au champ, on a réalisé trois analyses et les résultats sont donnés par type d'analyse.

L'analyse des végétaux nous permet de connaître les teneurs en éléments majeurs N, P, K des feuilles et des grains. Les teneurs en azote dans les feuilles semblent favoriser par l'apport ensemble de N, P et K. Dans les grains, l'azote et le potassium, pris séparément, améliore les teneurs en azote. Les engrais utilisés favorisent les teneurs en phosphore dans les feuilles. Mais ils n'ont pas d'influence sur l'absorption de phosphore par les grains. Seule, la fertilisation azotée a un effet significatif sur les teneurs en potassium dans les feuilles. Les combinaisons deux à deux des éléments et le potassium appliqué seul améliorent l'absorption de potassium par les grains.

L'analyse du sol avant la mise en place de la production de semences a donné les résultats suivants :

- le pH pourrait être acide ou voisin de la neutralité selon l'horizon considéré ;
- le sol est bien pourvue en Ca^{2+} , riche en Mg^{2+} et a une teneur en K^{+} moyenne à bonne ;
- en général, les teneurs en phosphore assimilable sont faibles, mais on constate qu'elles augmentent avec la profondeur ;
- la valeur de la CEC est faible à moyenne ;
- le complexe adsorbant est fortement saturé et les teneurs en matière organique sont faibles ;
- le sol n'est pas salé.

L'analyse du même sol après la récolte montre que la culture d'une seule saison, sur un sol, ayant reçu un apport suffisant de N, P et K, n'a pas modifié la fertilité de ce sol.

Analyse économique des résultats prouve que l'engrais complet NPK donnent le plus de bénéfice net sur la production de semences du riz.

I – INTRODUCTION

1 - Généralités sur la région

Dans la région sud-ouest malgache, le riz contribue d'une façon très importante, comme la viande bovine, à la sécurité alimentaire. En général, la production de riz est destinée à la consommation locale de la province autonome de Toliara. Des cultures de riz se développent dans les principales zones de peuplement qui composent la région. La région comprend des périmètres rizicoles aménagés et ancestraux (traditionnels). Ces différentes zones se trouvent approximativement entre 22°30' et 23°30' de latitude Sud et entre 43°40' et 44°30' de longitude Est, à une altitude inférieure à 100 m. Elle jouit d'un climat tropical semi-aride avec deux saisons très contrastées : une saison sèche très marquée de 8 mois, allant d'avril à novembre et une courte saison de pluies, de décembre à mars. La pluviométrie, ayant une moyenne annuelle de 600 mm environ, présente une grande variabilité dans le temps et dans l'espace. Plus de 90% de la pluie tombent de décembre à mars. La température moyenne annuelle, de l'ordre de 25°C accuse une moyenne minimale de 17°C et une moyenne maximale de 33°C. L'insolation énorme produit une élévation de la radiation totale mensuelle de l'ordre de 20 MJ/m² (Source : station agrométéorologique du FOFIFA Tanandava de 1987-1997). L'humidité relative a une valeur moyenne de 77 %. Durant la saison sèche, les vents dominés par le « Tsioka Atsimo » n'ont pas d'effet notable sur les cultures de riz. Toutefois, pendant la saison pluvieuse, ils peuvent être très dévastateurs lors du passage des cyclones. Des matériaux d'origine fluviale récents ou actuels forment les sols de la région. Les sols peu évolués, limono-sableux, représentent 60% de l'ensemble. Les sols hydromorphes et les baiboho forment les restes. La plupart des périmètres irrigués de la région, favorables à la double riziculture annuelle, sur le même sol, peuvent être utilisés comme zone de production de semences, si l'on assure une bonne irrigation.

2 – Contexte

La production organisée de semences permet aux riziculteurs :

- d'utiliser de nouvelles variétés à haut rendement ;
- de se libérer des soucis et de risques de la conservation de la semence nécessaire à la prochaine campagne de culture ;
- d'assurer les besoins en semences des cultivateurs en années de mauvaise récolte ou de disette.

L'utilisation de semences améliorées et de bonne pureté variétale permet d'obtenir une production homogène sur le plan de la qualité et du format du grain, donc d'en tirer un meilleur revenu. Elle constitue un des facteurs de réussite en riziculture. Malheureusement, on constate que le progrès apporté par les semences améliorées est à peine perçu. Actuellement les acteurs de la filière semences riz semblent convaincus des avantages que présentent les semences améliorées. Cependant, les semences produites dans la région sont encore de qualité moyennement bonne et de faible quantité et n'arrivent pas à couvrir les besoins des agriculteurs. Le centre semencier « Tahirisoa », mis en place sous l'impulsion du Projet Sud-Ouest n'a réussi à satisfaire que partiellement les besoins en semences de la région tant sur la quantité que sur la qualité.

L'ONG RANO sy VARY a apporté son expérience à la multiplication de semence mais la production semble encore très limitée. Le taux d'utilisation s'affaiblit pour diverses causes et la baisse de la qualité de semences semble être une des raisons.

L'action de sensibilisation des producteurs, était entreprise par les encadreurs (CIRAGRI et Maison des Paysans ou MdP de Toliara) mais la compréhension de la notion de semences de qualité reste encore très faible.

La culture du riz, sans fertilisation, pratiquée pendant une longue période, épuise le sol et entraîne une décroissance du rendement. Des symptômes des carences en éléments nutritifs commencent à apparaître.

Les grains de paddy obtenus se composent de glucides, de protéines et de lipides. Ces matières sont formées essentiellement de carbone (provenant du gaz carbonique de l'air), d'azote, de phosphore et de potassium (sans parler des autres éléments secondaires) qui ne peuvent être fournis que par le sol.

De toutes ces observations, il apparaît donc nécessaire de connaître :

le sol et son état de fertilité, c'est-à-dire l'aptitude du sol à fournir à la culture les nutriments dont elle a besoin en quantité et en qualité ;

la demande de la culture en éléments nutritifs ou l'exportation des éléments minéraux des plantes. Cela nécessite la conduite d'expérimentations au champ pour étudier les courbes de réponse en éléments.

Une évaluation économique semble aussi nécessaire en vue de savoir les bénéfices nets procurés par les innovations apportées à la production des semences.

3 - Objectif

La présente étude se propose d'améliorer la production des semences à mettre à la disposition des agriculteurs par des actions sur l'environnement minéral de la plante, en intervenant sur l'offre du sol et la demande de la plante, pour atteindre une productivité optimale et un rendement choisi important. L'ajout en ions minéraux permet d'améliorer la fertilité du sol qui, par la suite, favorise la qualité et les rendements en paddy des semences.

II - MATERIELS ET METHODES

1 - Zone d' Etude

11 - Localisation

Le périmètre d'étude, le Bas-Mangoky, se trouve entièrement dans la commune rurale d'Ambahikily, sous-préfecture de Morombe, province autonome de Toliara. Il est situé à 230 km de la ville de Toliara et est traversé par la RN9. Il est compris entre le village de Tanandava-Station au sud, le fleuve Mangoky à l'est, le village de Mahazoarivo à l'ouest et le village de Tsianihy au nord. Il s'étend sur la rive gauche entre Tanandava - Station et Tsianihy, sur environ 30 km. La latitude Sud 23°30' et la longitude Est 44°31' forment les coordonnées du point moyen de la zone (voir carte).

12 - Choix de la zone d'étude

Nous avons mené l'étude et les expérimentations dans cette zone du Bas-Mangoky pour les raisons suivantes :

- les conditions climatiques et édaphiques ne diffèrent pas de celles des autres périmètres rizicoles de la région ;
- à l'instar des autres zones rizicoles de la région arrosées par le Fiherenana et l'Onilahy, la zone d'étude est drainée par le fleuve Mangoky ;
- disponibilité des terrains d'expérimentation ;
- accès facile en toute saison ;
- la flore des rizières de cette zone se compose d'espèces qui se trouvent dans les autres périmètres rizicoles de la région.

13 – Caractéristiques

131 - Topographie

La zone du Bas-Mangoky forme une plaine au relief peu accusé. Elle s'incline très doucement depuis une altitude de 60 m (Anosiambositra) jusqu'à la mer (SEGALEN et MOUREAUX, 1950).

Dans cette zone, le périmètre rizicole aménagé du Bas-Mangoky, plus ou moins aplani, a une pente inférieure à 8 %, presque faible (selon le classement USDA). Le périmètre se situe environ à 20 m au-dessus du niveau de la mer.

132 - Sol

Schématiquement on peut distinguer dans la région du Bas-Mangoky quatre principaux types de sols (SEGALEN et MOUREAUX, 1950):

- les alluvions récentes limoneuses micacées salées ou non salées ;
- les alluvions anciennes plus ou moins évoluées en cours de rubéfaction ;
 - les micas y sont absents ou rares ;
- les sables roux ;
- les sols jaunes et les alluvions argileuses évoluées.

Les expérimentations ont été menées sur les sols du bloc C et du bloc F de la station du FOFIFA à Tanandava Bas-Mangoky. Les observations de profil cultural des ces sols donnent les résultats suivants:

Sol du bloc C

0 - 20 cm : horizon brun noirâtre, sablo-argileux ; consistance cohérente ; présence de grains de quartz et de mica avec débris des végétaux en surface et des racines ; structure prismatique.

20 - 40 cm : horizon brun foncé sable limoneux; consistance compacte ; présence de grains de quartz et absence de racine ; structure anguleuse.

Sol du bloc F

0 - 20 cm horizon sablo-limoneux, brun clair; consistance cohérente ; fréquence des grains de quartz ; présence de micas, de débris végétaux et des racines ; structure prismatique.

20 - 40 cm : horizon limono-argilo-sableux, brun jaunâtre ; abondance de quartz ; consistance un peu compact ; pas de racine; structure fragmentaire de forme angulaire. La transition entre les horizons se distingue mais la limite semble irrégulière. Au-dessous de ces alluvions, à une profondeur variant de 20 cm à 50 cm, on trouve du sable roux.

133 – Climat

Pluviométrie

La région du Bas-Mangoky à 50 km de Morombe, se situe à la hauteur de l'isohyète 600. Elle se trouve dans le domaine tropical sub-aride à semi- aride chaud de l'Ouest.

Les pluies, relativement faibles en été, varient durant cette période. La pluviométrie annuelle a une moyenne de l'ordre de 600 mm/an.

La saison de pluie, courte, peu arrosée, s'étend de novembre en mars, mais représente 70% de la totalité des précipitations annuelles. La sécheresse semble plus accentuée en hiver par l'effet "Föhn" de l'alizé. La saison sèche, fraîche et hivernale s'étend d'avril en août. Les mois de septembre et octobre s'avèrent encore secs mais déjà chauds. La saison chaude et relativement pluvieuse alterne avec la saison sèche particulièrement accentuée et longue.

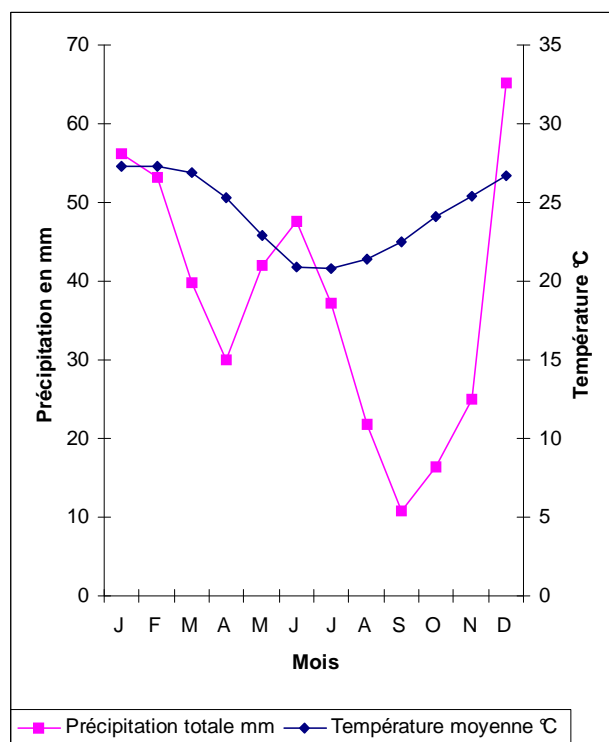
Température

La forte amplitude thermique varie de 15 à 20°C. La température moyenne annuelle dépasse 20°C. Les températures maxima et minima absolues enregistrées sont respectivement 42°C et 5°C.

Courbe ombrothermique (Morombe)

La méthode de construction du diagramme ombrothermique est donnée en annexe 1.

Figure 1: Diagramme ombrothermique (Morombe de 1961–1990)



Données climatiques de Morombe de 1931 – 1990 en Annexe 1

Source Station météorologique de Toliara

Sur les courbes obtenues (Fig.1), la saison sèche, matérialisée par la zone où la courbe des températures passe au-dessus de la courbe des précipitations, va de mi janvier à mi mai et de mi juin à mi novembre et dure 10 mois. Une courte période de pluie s'observe au mois de juin.

A cause des températures qui sont en moyenne plus élevées, la zone du Bas-Mangoky devrait bien convenir à la culture de riz. Toutefois, l'insuffisance pluviométrique devra être compensée par des irrigations importantes.

134 - Eau d'irrigation

L'eau occupe une place très importante en riziculture irriguée. Elle agit dans la croissance du riz, intervient pour contrôler les mauvaises herbes et sert de régulateur de température en maintenant durant la croissance du riz une température plus uniforme. L'eau de la rizière joue un véritable volant thermique et l'on doit savoir judicieusement l'utiliser. La qualité de l'eau constitue un facteur très important car la riziculture nécessite l'utilisation de l'eau de très faible salinité et contenant des éléments nutritifs. L'évapotranspiration potentielle est élevée dans la région sud ouest. Elle se trouve entre 70 et 180 (annexe1, tableau 1).

135 - La végétation

La flore des rizières de la zone du Bas-Mangoky et la plupart des périmètres rizicoles de la région se composent de plusieurs familles (annexe 2). Deux espèces végétales du type herbacé envahissent la rizière dans plusieurs périmètres rizicoles de la région sud-ouest : la "Tsingirifotra ou Dremotse": dans la famille des graminées ; la "Tombokalika": espèce appartenant au groupe des Bryophytes. Elles se détruisent difficilement dans les rizières à cause de leurs racines qui se multiplient dans le sol. En effet une partie de leur racine suffit largement pour leur régénération.

2 - Les exigences et la variété du riz

21 - Exigences du riz

Au point de vue sol, la production de semences nécessite un minimum de qualité de sol pour conduire la culture d'une façon adéquate. Le riz peut s'adapter aux terrains les plus variés. Il ne semble pas avoir d'exigences particulières aux propriétés physico-chimiques des sols. Seulement, il a besoin d'un terrain dont les qualités physiques soient en rapport avec le mode culture adopté. Le riz s'accommode à divers pH (4 à 6). Le riz irrigué a besoin d'une terre à sous-sol argileux, imperméable, qui puisse retenir l'eau d'irrigation. A cet effet, il sera cultivé dans une dépression ou à des endroits permettant une irrigation aisée et peu coûteuse (terres alluvionnaires, plaines et delta des grands fleuves). Il vit aussi bien dans les limons légèrement acides que dans les alluvions très calcaires. Il aime les sols sableux à substratum imperméable (maintenir le plan d'eau) et aussi les sols argileux.

Sur le sol salé, les rendements baissent rapidement, là où le lessivage du sol ne suffit pas pour évacuer les chlorures. Les problèmes de fertilité du sol, étroitement liés à la nécessité d'un accroissement considérable et rapide de la production rizicole, interviennent dans la quasi-totalité des cas où apparaissent presque toujours des facteurs limitants, liés à la pauvreté du sol en éléments indispensables à l'alimentation des plantes. L'obtention d'un bon rendement de la production de semences de qualité dépend en grande partie de la fertilité du sol. Le riz est exigeant en eau. Ses besoins en eau varient en fonction des variétés, du climat et des saisons de culture. En général, pour un hectare, on évalue à 2 litres par seconde, la quantité suffisante pour satisfaire la consommation nécessaire moyenne. Les quantités d'eau utiles se situent entre 10 000 et 15 000 m³/ha de rizière correspondant à 1000 à 1500 mm de pluie (De Datta S K. 1981) pendant la végétation pour les variétés de culture irriguée. Le manque d'eau durant le tallage ne diminue que peu le rendement, mais un manque d'eau pendant la montaison et l'épiaison peut compromettre le rendement et réduit la qualité de la production. L'eau, maintenue continuellement depuis le repiquage jusqu'à la pleine maturité, permet d'obtenir des meilleurs rendements. Elle dissout également plusieurs sels minéraux (chlorure, carbonate, sulfate). Sa qualité constitue un facteur très important car la riziculture nécessite l'utilisation de l'eau de faible salinité et contenant des éléments nutritifs.

Le riz a besoin de beaucoup de chaleur ; il ne peut être semé que lorsque la température atteint 16°C. On estime qu'il lui faut une température cumulée de 3500°C à 4500°C durant la végétation, suivant les variétés, pour mûrir convenablement (MOURANES E. 1962). Le riz a une grande sensibilité aux variations de température, mais dans la zone d'étude, la température correspond bien aux exigences de la culture semencière du riz. Elle rend possible la riziculture irriguée et favorise la production de semences dans la région. L'insolation forte ne constitue pas un facteur limitant à la production de semences. Les conditions écologiques de production conditionnent, d'une manière générale, la quantité et la qualité d'une semence. Le facteur climatique joue un rôle important dans le choix de la zone de multiplication. Malgré quelques difficultés qui pourraient survenir aux alluvions sableuses, à cause de leur perméabilité et leur état sableux, les alluvions limoneuses récentes de la région du Mangoky présentent des qualités physiques moyennes qui se prêtent à l'irrigation.

Les conditions climatiques et édaphiques des différentes zones rizicoles, semblables à celles de la zone d'étude, ont amené à émettre les conclusions suivantes :

- les périmètres irrigués de la région peuvent être exploités comme zones de production de semences de qualité;
- toutes les alluvions pourraient être utilisées pour la production des semences riz, à conditions d'assurer la fertilisation et de bien conduire l'irrigation.

A ces exigences du riz s'ajoutent l'élimination de riz étrangers et la lutte contre les adventices, pour produire de semences pures. En effet, les riz étrangers peuvent provenir des « Mondra », grains de variétés précoces qui ont infestés le sol des rizières ou être apportés par les eaux d'irrigation, les crues, les oiseaux et les bœufs au cours de l'hersage ou piétinage. Pour faciliter l'épuration, les parcelles d'expérimentation ont été repiquées avec des plants de 17 jours en pépinière de la variété choisie, à raison de 1 brin par touffe et à un écartement de 30 cm x 30 cm. Ainsi, il est possible à l'époque de la floraison et de la maturation de suivre une à une les lignes et supprimer les plants étrangers. Pour obtenir le maximum de pureté, trois passages d'épuration s'imposent. Le rendement peut diminuer par la suite du grand écartement des plants, mais l'essentiel est d'obtenir de semences pures. Pour lutter contre les adventices, on pratique le désherbage chimique par le Rifit 500EC à la dose de 1,5 litre/ha de rizière, appliqué 3 jours après le repiquage. Un sarclage manuel a été fait au 20^{ème} jour après repiquage afin d'éliminer les mauvaises herbes non détruites par l'herbicide et d'aérer les racines.

22 - Variété du riz

La variété n° 2798, cultivée dans plusieurs périmètres rizicoles de la région en saison pluvieuse était choisie comme plante-test (voir annexe 3). La farine de riz de cette variété a la composition centésimale suivante (Département de Recherche Technologique, 1990):

- 8.5 % d'humidité ;
- 8.2 % de matière minérale ;
- 15 % de matière grasse ;
- 12.68 % de matière azotée ;
- 3.6 % cellulose brute ;
- 52.02 % d'autres glucides.

La quantité en protéines du riz se trouve faible, environ 7 à 14 %. Mais ces protéines se classent parmi les plus nutritives de toutes les protéines des céréales grâce à sa richesse en lysine, environ 4% des fractions protéiques.

3 - Méthodologie

Les méthodes utilisées dans cette étude sont les suivantes :

31– Expérimentations au champ

311 – Courbes de réponse en NPK

Pour connaître «la demande» de la culture ou l'«exportation» des éléments minéraux en vue d'atteindre le rendement «choisi» et la qualité «voulue» et d'assurer la détermination au champ de l'importance des carences minérales ainsi que leur estimation quantitative.

312 – Evaluation globale de la fertilité du sol à cultiver

Conduite d'une petite multiplication de semences du riz sur deux types de sol pour connaître la fertilité du sol, à partir de rendements en paddy obtenus.

313 – Essai factoriel

On réalise cet essai afin de connaître les influences des éléments fertilisants majeurs sur le rendement et la qualité des semences produites.

32 – Analyse au laboratoire

321 – Analyse des végétaux

Analyse des feuilles et des grains pour connaître les teneurs des éléments dans la plante.

322 – Analyse du sol

Avant et après la culture pour déterminer l'état de fertilité du sol avant et après la culture.

33 – Analyse économique et évaluation de la rentabilité des engrais.

Connaître les coûts des différentes formules de fertilisations étudiées et leur rentabilité en riziculture irriguée.

III - RESULTATS, ANALYSES ET INTERPRETATIONS

A – LES COURBES DE REPONSE EN N P K

Une expérimentation dite «courbe de réponse» était conduite pour étudier la réponse de la culture du riz aux nutriments choisis à des niveaux croissants: l'azote et le phosphore. Pour cet essai, le principe est le suivant : Sur un sol de composition connue, on cultive la variété choisie de riz, dans des parcelles délimitées par des diguettes. Chaque parcelle reçoit un apport de fertilisant donné. La quantité de l'élément testé diffère d'une parcelle à l'autre pour une même répétition. La fumure apportée sur les parcelles d'expérimentation comporte tous les éléments minéraux nécessaires.

Mais l'élément étudié ou testé est appliqué à doses variables (4 à 6, y compris la dose zéro) et les autres sont apportés à une dose uniforme suffisamment forte pour qu'ils ne risquent pas de constituer des facteurs limitants.

On détermine le rendement de la plante cultivée en fonction des apports de l'élément qui varie. On établit la courbe représentant l'évolution de la productivité en fonction de la dose de fertilisant, appelée courbe de MITSCHERLICH dont le plafond correspond à la correction complète de la carence étudiée: c'est la courbe de réponse pour un élément donné fertilisant. L'essai, mené sur le terrain de la station rizicole du FOFIFA de Tanandava, dans le périmètre aménagé du Bas-Mangoky, était placé sur un sol alluvionnaire qui a fait l'objet d'une caractérisation au laboratoire de pédologie du FOFIFA à Antananarivo.

1 - Matériel et méthode

11 - Dispositif expérimental

Le dispositif adopté, le bloc complet aléatoire comportait 4 répétitions. Le principe est le suivant : chacune des K_t doses (ou niveaux ou variantes) à comparer d'un traitement pour lesquels on a prévu K_b répétitions, est apportée sur une surface aussi homogène que possible. La surface ainsi définie constitue un "bloc. Afin de réaliser les répétitions voulues, K_b blocs sont constitués en des emplacements différents; on se préoccupe chaque fois de l'homogénéité à l'intérieur du bloc, mais non des différences de fertilité qui peuvent exister entre les blocs. Dans un même bloc, les traitements sont repartis au hasard. Les résultats sont donc soumis à l'action de deux facteurs contrôlés : le facteur "traitement" (K_t niveaux) et le facteur "bloc" (K_b répétitions).

12 – Traitements

Deux essais ont été conduits, sur un même type de sol. Dans chaque cas, il y a 4 doses (ou traitements) d'éléments testées, dont une zéro, et une dose supposée nettement forte. Les doses croissantes apportées à l'hectare de rizière pour l'élément azote en présence de P et K constants et pour l'élément phosphore en présence de N et K constants figurent dans les tableaux ci-dessous.

Tableau 1: Doses croissantes d'azote (P et K apportés à niveaux constants).

Traitement	T1	T2	T3	T4
Doses d'azote (N)	0	45	90	135
Dose de phosphore (P)	90	90	90	90
Dose de potassium (K)	30	30	30	30

Tableau 2: Doses croissantes du phosphore en maintenant constants N et K

Traitement	T5	T6	T7	T8
Dose d'azote (N)	90	90	90	90
Doses de phosphore (P)	0	45	90	135
Dose de potassium (K)	30	30	30	30

La dose de potassium est uniformément de 30 kg de K par hectare de rizière.

13 - Conduite de l'expérimentation

Des plants âgés de 20 jours de la variété cultivée étaient repiqués en lignes espacées de 20cm x 20cm à raison de 2 brins par touffe. Au moment du repiquage, la totalité des engrais phosphatés et potassiques ainsi que les 2/3 de l'azote ont été épandus à la volée et incorporés dans le sol en boue. Le 1/3 restant de l'engrais azoté a été apporté en couverture avant la montaison, environ un mois après le repiquage. Au cours du cycle végétatif, les dates de passage de la plante aux différents stades phénologiques (tallage, montaison, épiaison, floraison et maturité) ainsi que les dates de réalisation des opérations culturales ont été notées. A la récolte, on détermine aussi le rendement en grains de paddy secs ramené à 14% d'humidité par parcelle élémentaire.

Tableau 3 : Dates de réalisation des opérations culturales

Nature de travaux	Date de réalisation	Nature de travaux	Date de réalisation
Semis	07/01/02	Repiquage	27 et 28 /01/02
Labour	20/01/02	Apport d'azote	1 ^{er} : 27/01/02 2 ^{ème} : 23 /02/02
Hersage	23/01/02	Sarclage	chimique: 30/01/02) manuel: 21/02/02)
Planage	25/01/02	Récolte	08/ 05/02 au 10/05/02

Tableau 4 : Dates de passage de la plante aux différents stades phénologiques

Stade	Plein tallage	Montaison	Epiaison	Floraison	Maturité
Date	01/03/02	15/03/02	10/04/02	20/04/02	06/05/02

2 - Résultats

21 - Rendement moyen en paddy sec à 14% d'humidité (t/ha)

Les rendements moyens en paddy pour les doses croissantes d'azote et de phosphore sont présentés dans les tableaux 5 et 6 ci-dessous.

Tableau 5 : Doses croissantes d'azote

Traitements	T1 (0N)	T2 (45N)	T3 (90N)	T4 (135N)
Rendement en grain (t/ha)	4.15	4.75	6.08	7.08

Tableau 6 : Doses croissantes de phosphore

Traitements	T5 (0P)	T6 (45P)	T7 (90P)	T8 (135N)
Rendement en grain (t/ha)	6,59	6,19	6,08	5,98

22 - Courbes de réponse

On trace les courbes de l'évolution de la productivité en fonction des doses croissantes de N et P.

Figure 2: Courbe de réponse en azote

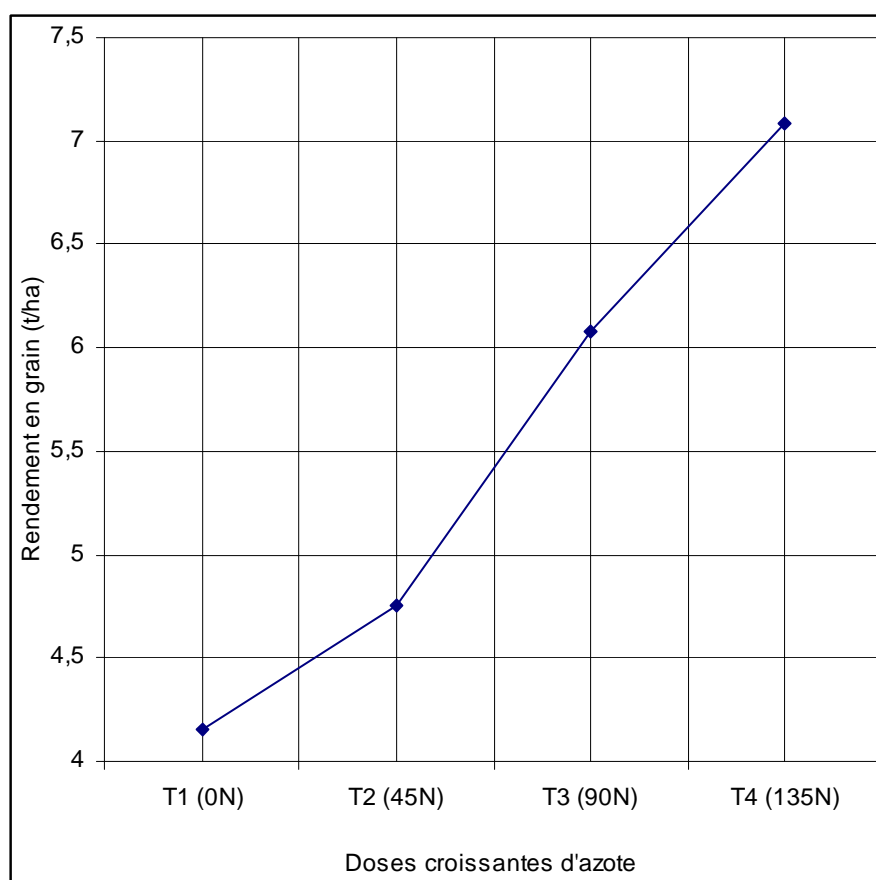
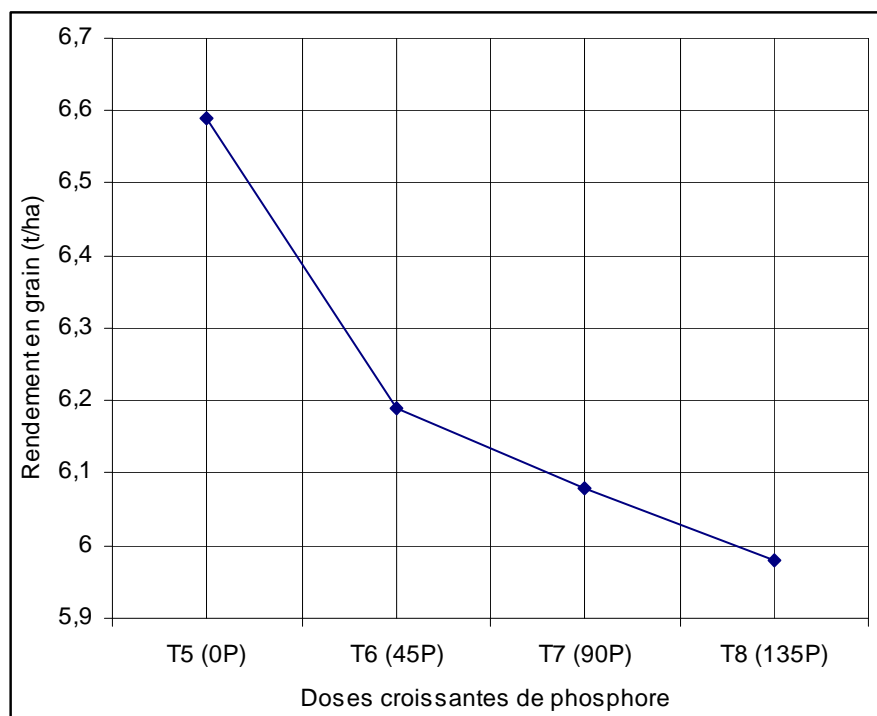


Figure 3: Courbe de réponse au phosphore (P)

3 - Analyse et interprétation des résultats

Les rendements en paddy, résultant de l'apport des doses croissantes d'azote et du phosphore, ont été analysés statistiquement suivant la méthode des blocs complets. Les moyennes des traitements sont par la suite classées selon le test de DUNCAN.

Tableau 7: Comparaison des moyennes selon le test de DUNCAN à 5% azote)

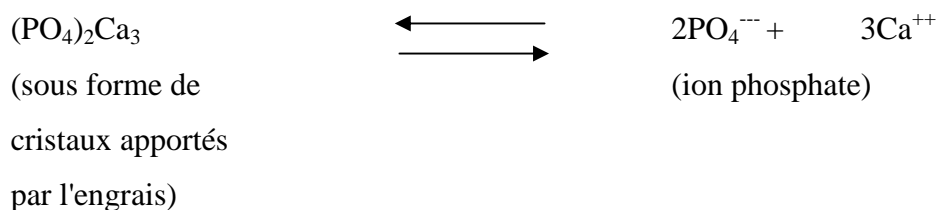
Doses d'azote	Moyennes des rendements	Groupe homogène
135N	7,08	a
90N	6,07	b
45N	4,74	c
0N	4,15	c

Interprétation

Pour les doses croissantes d'azote, les rendements s'accroissent en même temps que les doses d'azote. La variété n° 2798 répond de manière marquée aux apports d'azote jusqu'à 135 kg à l'ha, dose donnant un rendement de 7,08 t /ha. On a ici une courbe presque linéaire avec une pente relativement faible. La dose optimum au-delà de laquelle les rendements n'augmentent plus, n'est pas encore atteinte, signifie que les doses d'azote pratiquées sont encore insuffisantes. Les résultats de l'analyse statistique montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre 135N et 90N.

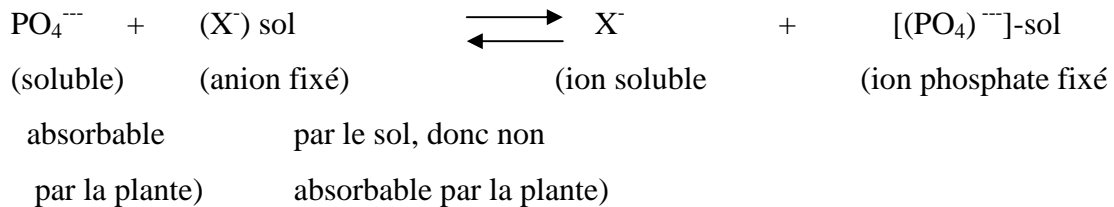
Donc la dose de 90N serait la dose optimale pour ce type de sol de la région Sud Ouest pour le moment. Mais bien que les études soient en cours et qu'il soit encore trop tôt pour tirer une conclusion, il semble que dans la grande majorité des rizières de la région sud ouest il faut apporter 90N pour prétendre à des résultats élevés.

Dans le cas du phosphore, on n'a aucune réponse favorable à des apports croissants de phosphate, en présence d'une fertilisation azotée ou potassique. Ils provoquent des effets dépressifs sur le rendement. Malgré cela, on ne peut pas trop se presser de conclure que cette diminution du rendement est due à ce que le milieu renferme une quantité en phosphate dépassant le seuil de tolérance de la plante. Rappelons d'abord qu'à la suite d'un apport d'engrais phosphaté dans la rizière, la transformation équilibrée suivante a lieu:



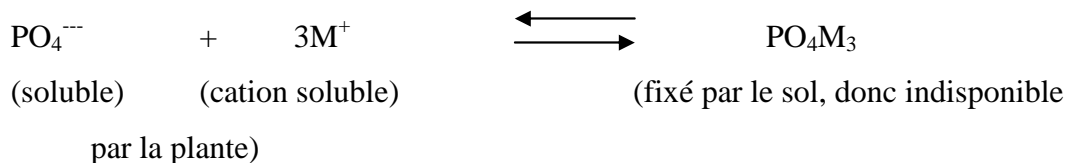
Alors, pour expliquer cet effet dépressif du phosphore, on peut émettre les deux hypothèses ci-dessous :

Hypothèse A :



L'anion X^- , ainsi libéré a un effet dépressif sur le rendement en grain du riz.

Hypothèse B :



Le cation M^+ devient indisponible par la plante alors qu'il est nécessaire pour le développement harmonieux de la plante. Donc l'addition d'engrais phosphaté diminuera la quantité de M^+ absorbable par la plante, ce qui va réduire le rendement en paddy. Il sera nécessaire de reconduire cette expérimentation aussi bien à la station qu'en milieu réel de la région Sud Ouest sur différents types de sol, déjà bien caractérisés, pour mieux expliquer cet effet négatif du phosphate.

Mais en présence de ces résultats obtenus qui ont montré qu'il n'y avait pas de réponse favorable au phosphore pour le sol considéré, la prudence préconise l'utilisation de cet élément dans la riziculture de la région pour que le phosphate ne constitue pas un facteur limitant du rendement.

A cause de l'insuffisance de l'engrais potassique pendant cette période dans la région, on n'a pas pu réaliser l'étude de la courbe de réponse en cet élément.

Mais comme la plus grande partie du potassium est contenue dans la paille, une attention particulière doit se porter sur la fertilisation potassique dans la région Sud Ouest où les pailles ne sont pas restituées au sol. Elles sont exportées (brûlées ou servent d'aliment pour le bétail).

4 -Conclusion

Les deux courbes de réponse aux éléments testés dans l'expérimentation (azote et phosphore) effectuées sur le type de sol alluvionnaire récent et fluvatile du Bas-Mangoky, n'ont pas pu donner la dose qui amène le rendement maximum en riziculture.

Ces courbes aboutissent aux conclusions suivantes : il n'y a pas d'élément justifiable d'une fertilisation de fond. L'apport de 90 kg d'azote par hectare de rizière et par saison pourrait être conseillé sur les sols alluviaux, récents et fluviatiles de la région sud ouest malgache. L'utilisation de la potasse en fertilisation de la culture du riz dans la région est nécessaire à cause de la non restitution de la paille en rizière.

B - EVALUATION DE LA FERTILITE DU SOL A CULTIVER

La fertilité peut être déduite des rendements obtenus d'une culture conduite sur le sol. Alors cette méthode consiste à réaliser la production de semences riz sur différents types de sols de rizière dans les mêmes conditions de culture (itinéraires techniques identiques). Elle vise aussi à comparer les rendements issus de multiplications à chaque type de sol pour estimer la fertilité du sol. Les productions de semences riz ont été conduites en 2003, durant la saison pluvieuse (ou tsipala), à la station rizicole du FOFIFA de Tanandava, sur les sols des blocs C et F. La variété de riz n° 2798 est utilisée et la surface cultivée, sans répétition, étant de 30 ares pour le bloc C et de 20 ares pour le bloc F.

1 - Dates de réalisation des opérations culturales

Opérations culturales	Dates de réalisation	
	Bloc C	Bloc F
Semis :	10/02/03	10/02/03
Repiquage :	03/03/03	03/03/03
Apport d'urée :		
1 ^{er}	10/02/03	10/02/03
2 ^{ème}	31/03/03	31/03/03
Sarclage :		
1 ^{er}	05/03/03	05/03/03
2 ^{ème}	28/03/03	31/03/03
Récolte	08/05/03	10/05/03

Toutes les opérations culturales ont été réalisées du mois de février au mois de mai. Le séchage et le vannage ont été effectués vers mi mai

2-Rendement

Les rendements en grain de paddy sont :

- Bloc C : 6,300 t/ha
- Bloc F : 5,800 t/ha

3 - Interprétations et conclusion

Bien que les itinéraires techniques soient identiques pour les deux lieux de production, les rendements obtenus ne sont pas les mêmes. Le sol du bloc C semble plus fertile que celui du bloc F. Cette qualité de sol du bloc C de la station nous a permis de choisir ce terrain pour conduire l'expérimentation factorielle en 2004. Ce sol permet d'obtenir le bon rendement. Mais cette conclusion préalable mérite d'être confirmée en faisant des analyses de sol au laboratoire

C– ESSAI FACTORIEL

1- But de l'expérimentation

Cet essai est destiné, d'une part, à mesurer l'influence des différents éléments minéraux majeurs N, P et K avec leur interaction, sur et le rendement en paddy et ses composantes, d'autre part, à déterminer la qualité de grains et les effets des autres facteurs ou caractères sur le rendement en grains. Il vise aussi à trouver la fertilisation équilibrée afin d'obtenir les meilleurs résultats en rendements et en qualité des semences produites.

2- Matériel et méthode

21 - Dispositif expérimental et traitements étudiés

L'essai organisé en bloc complet, avec 4 répétitions comporte 8 traitements résultant de la combinaison de trois facteurs N, P, K à deux niveaux chacun.

Les combinaisons factorielles des trois éléments fertilisants N, P, K, de cette expérience figurent dans le tableau ci-dessous :

Tableau 8: Combinaisons factorielles des trois facteurs étudiés N, P, K (traitements étudiés)

Combinaison	N ₀ P ₀ K ₀	N ₁ P ₀ K ₀	N ₀ P ₁ K ₀	N ₀ P ₀ K ₁	N ₁ P ₁ K ₀	N ₁ P ₀ K ₁	N ₀ P ₁ K ₁	N ₁ P ₁ K ₁
	Témoin	N	P	K	NP	NK	PK	NPK

Les engrais utilisés dans cet essai factoriel sont donnés dans l'annexe 3.

22 - Conduite de l'expérimentation

Pour cet essai factoriel, le repiquage se fait avec des plants âgés de 17 jours de la variété n° 2798, en lignes espacées de 30cm x 30cm à raison de 1 brin par touffe.

La totalité de la fertilisation phospho-potassique et les 2/3 de l'engrais azoté sont enfouis dans le sol en boue au moment du repiquage, pour les parcelles devant les recevoir. Le 1/3 restant de l'azote est épandu en couverture avant la montaison. Au cours du cycle végétatif, on note les dates de réalisation des opérations culturales et les dates de passage aux différents stades phénologiques de la plante. On observe les symptômes de carence ou d'insuffisance. On mesure la hauteur des plants aux différents stades de croissance et les composantes de rendements ainsi que la surface foliaire et celle du sol couverte par les touffes.

3 - Dates des opérations culturales

Semis : 07/02/04

Labour de la rizière : 15/02/04

Mise en boue et planage : 20 et 21/02/04

Repiquage : 22/02/04

Premier apport d'engrais : 22/02/04

Deuxième apport d'engrais azoté : 02/04/04

Sarclage chimique : 24/02/04

Sarclage manuel : 27/03/04

Récolte : 19 et 20/05/04

Séchage des pailles : 20 au 24/05/04

4 - Observation de la végétation en cours de culture

Au cours du début de la croissance de la plante, on observe des feuilles vertes jaunâtres dans les parcelles sans azotes. On y note aussi une croissance retardée et un tallage réduit des plants.

Il y avait une apparition du jaunissement sur les feuilles les plus âgées des parcelles où l'azote manquait. Pour les parcelles avec azote, une grande partie des feuilles reste verte jusqu'à la maturité et on observe un retard de maturité de cinq à six jours par rapport aux autres parcelles sans azotes. Pour les parcelles sans phosphore, les remarques suivantes ont été faites :

- un tallage réduit ;
- une croissance ralentie ;
- des feuilles d'un vert plus sombre et plus érigées que normales ;
- des feuilles plus âgées présentent une décoloration orange.

Enfin, les plants des parcelles sans potassium ont un tallage réduit et les feuilles ont une couleur vert sombre.

5 – Résultats, analyses et interprétations

Tous les résultats obtenus ont été analysés statistiquement selon la méthode factorielle (STATITCF version 3) pour les raisons suivantes :

- mettre en évidence les effets directs des trois facteurs étudiés et leur éventuelle interaction ;
- déceler la (ou les) meilleure combinaison à adopter entre ces trois éléments, pour obtenir de bons rendements en grains de meilleure qualité.

Dans cette expérimentation, pour tous les résultats obtenus, nous avons adopté le principe suivant : on représente, sous forme de graphique ou figure les résultats moyens des 4 répétitions par traitement. Les détails, par parcelle et par répétition, sont donnés dans les annexes. Dans les interprétations pratiques des calculs statistiques (résultats d'analyse statistiques), on détermine deux significations) :

- *la signification globale des effets des traitements* : on porte un jugement global sur les différences entre les traitements en étudiant le rapport F calculé des deux variances (variance des traitements et variances de l'erreur) et en comparant cette valeur trouvée de F avec la valeur théorique F. Ici on a testé un effet moyen des traitements ;
- *la signification détaillée de chaque effet des traitements* : on pousse dans le détail l'analyse, car il est possible que certains traitements soient sans effets (non significatifs) alors que d'autres traitements ont un effet important (significatifs ou hautement significatifs). Cette interprétation détaillée de chaque effet des traitements consiste à subdiviser les effets des traitements en autant de parties qu'il y a de degré de liberté. Dans notre essai, les traitements ont 7 degrés de liberté (nombre de traitements - 1).

Ils ont été subdivisés en sept parties ayant chacun 1 degré de liberté. Pour chaque traitement, on détermine le F calculé et ensuite on le compare avec le F théorique en vue de connaître la signification de l'effet du traitement. Rappelons que chacun des trois facteurs étudiés (N, P, K) a deux niveaux : présence et absence. Ces variantes sont prises comme libellés de facteur dans l'interprétation détaillée de chaque effet de traitement, aussi bien pour un traitement à un élément seul que pour la combinaison.

Les moyennes des traitements ont été par la suite classées suivant le test de NEWMAN et KEULS (voir annexe 4).

51 – Dates de passage de la plante aux différents stades phénologiques

Début de tallage : 10/03/04	Plein tallage : 30/03/04
Début montaison : 07/04/04	Pleine montaison : 13/04/04
Début floraison : 18/04/04	Fin floraison : 25/04/04
Début épiaison : 15/04/04	Fin épiaison : 20/04/04
Maturité physiologique : 18/05/04	

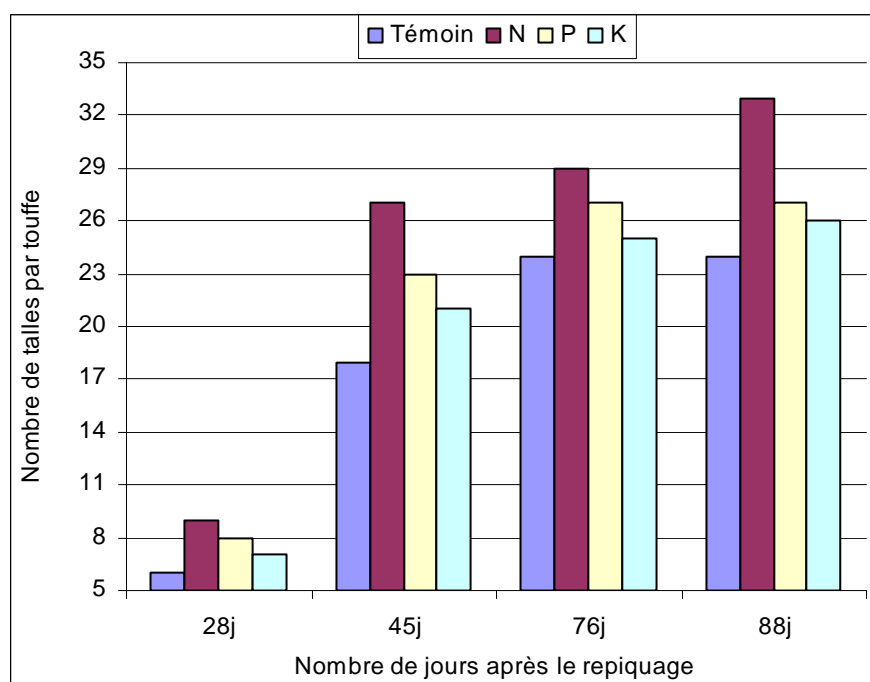
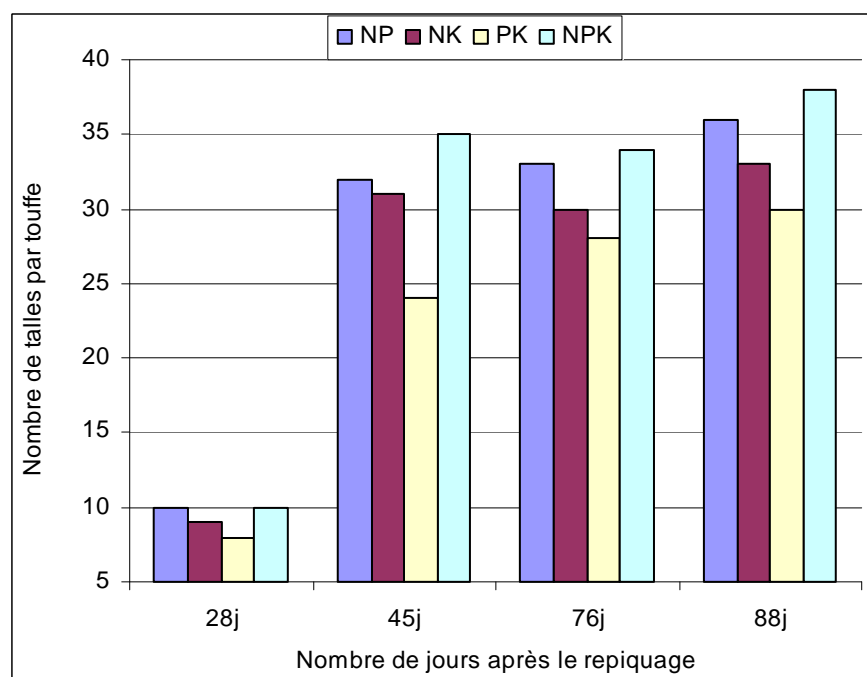
52 -Opérations effectuées en cours de végétation

521 - Nombre de talles par touffe

On note le nombre de talles par touffe aux différentes périodes de la végétation, sur 3 unités de 2 x 2 touffes (4 touffes adjacents), soit au total 12 touffes par parcelle élémentaire. Dans les tableaux 9, 10 et 11 de l'annexe 5, on trouvera les nombres de talles par touffe à chaque répétition et par parcelle en diverses périodes de végétation.

5211 Résultats

Les deux figures ci-dessous représentent les nombres moyens de talles par touffes obtenues à chaque formule de fertilisation apportée. Le premier graphique correspond aux talles du témoin sans engrais et celles issues des trois parcelles où l'on apporte respectivement l'azote, le phosphate et la potasse. Les quatre autres fumures donnent chacune les talles de la figure 5.

Figure 4 : Nombre de talles par touffe (Témoin et apport de N, P, K)**Figure 5 : Nombre de talles par touffe (Témoin et combinaison NP, NK, PK, NPK)****5212 - Interprétation**

Grâce aux observations réalisées en pépinière, le tallage ou émission de tiges adventives débute faiblement en pépinière dès le dix septième jour après le semis car on pratiquait un semis clair (6 kg/are de pépinière).

Il devient particulièrement intense vers le 60^{ème} jour après repiquage, avec production de tiges ou talles secondaires, tertiaires et quaternaires dont l'ensemble constitue la touffe ou pied de riz. Dès le début de la croissance des plants, 28 jours après le repiquage, l'analyse statistique révèle des différences significatives entre les traitements. Les traitements avec azote ou avec phosphore sont significativement supérieurs aux autres. Les autres traitements ne diffèrent pas entre eux.

A 45 jours après le repiquage, les traitements à N seul, P seul ou K seul sont hautement significatifs. Il n'y a pas d'interaction entre les éléments. A 76 jours après le repiquage, ce sont encore les deux traitements à N seul et à P seul qui apparaissent significatifs. A la récolte, les trois traitements à N seul, P seul et K seul diffèrent significativement des autres traitements formés par leur combinaison. Tous ces traitements sont supérieurs au témoin. A ce stade, aucune interaction significative entre ces éléments fertilisants apportés n'est observée. Compte tenu de ces résultats à chaque stade de développement, les différences significatives entre traitements qui apparaissent dès le 28^{ème} jour après le repiquage se maintiennent jusqu'à la maturation.

Les interactions entre les divers facteurs ne sont pas significatives durant la période de végétation, quelle que soit la combinaison considérée. En général, la production de talles est la plus active pendant le deuxième mois de végétation du riz. Durant cette période, le nombre moyen de talles par touffe pour tous les traitements y compris le témoin absolu passe de 6 à 18, soit une augmentation de 3 fois. Cette émission de talles se ralentit ensuite et, dans les deux semaines qui précèdent la récolte, un certain nombre de talles (les derniers émis en général) disparaissent, ceci au moment de la maturation.

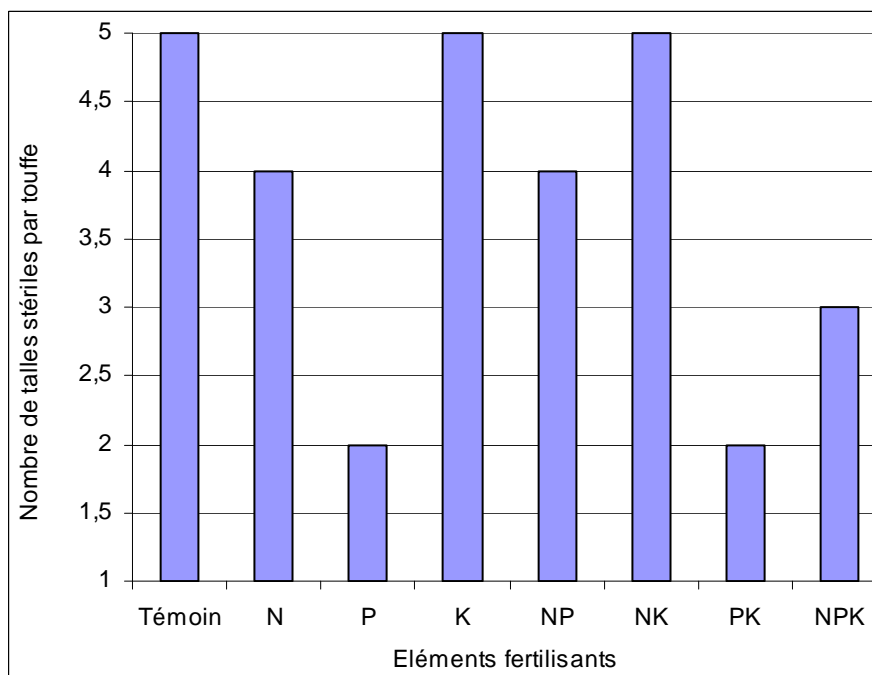
5213 – Conclusion

En conclusion, le nombre de talles est fonction de l'environnement, en particulier de la fertilité du sol, donc il varie selon le type d'engrais apporté. L'influence de l'azote, du phosphore et du potassium sur le tallage persiste jusqu'à la récolte. Les deux fumures phosphatée et potassique, chacune employée seule, donne des résultats équivalents sur le tallage à différents stades de végétation. La fumure minérale complète constitue la plus efficace et la plus rentable sur la formation des talles du riz. Elle sera à conseiller pour la culture du riz dans la région.

522 – Nombre de talles stériles par touffe à la récolte

5221 -Résultats

Les résultats détaillés par répétition sont donnés en annexe 5, tableau 13

Figure 6 : Nombre moyen de talles stériles par touffe à la récolte**5222 - Interprétation**

Les nombres élevés de talles stériles apparaissent dans la parcelle témoin et dans celles ayant reçu les éléments K ou N ainsi que la combinaison NK et NP.

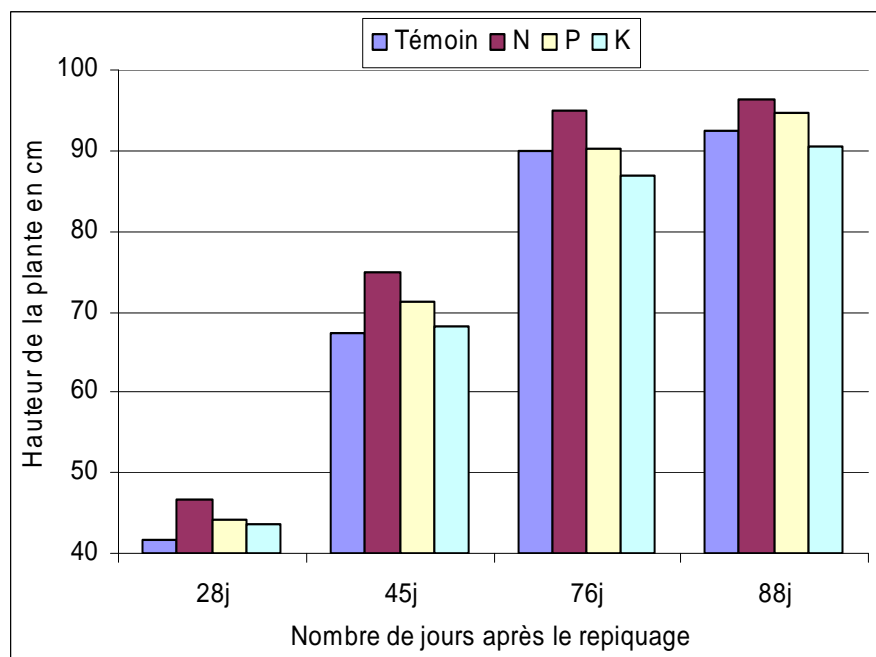
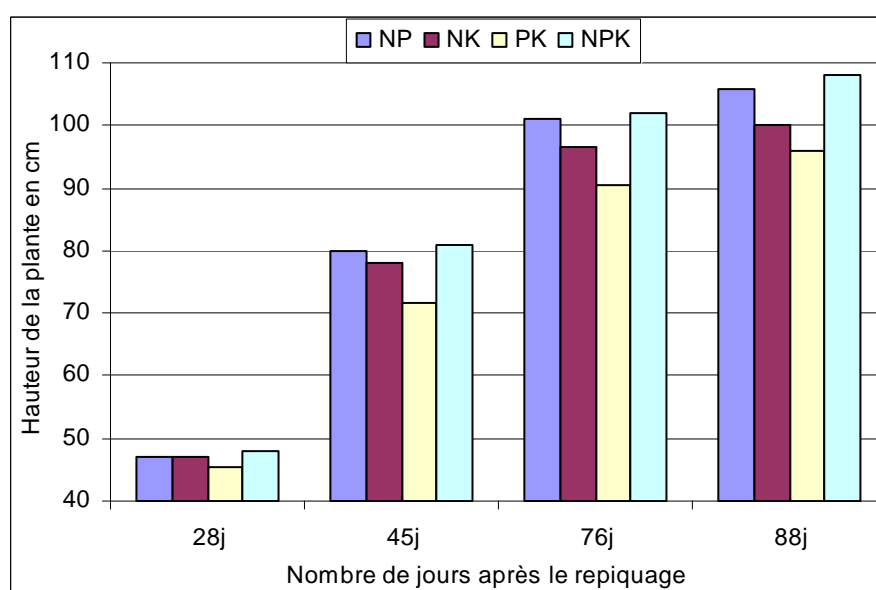
L'azote, seul ou combiné avec d'autre élément, favorise le développement de l'appareil végétatif (tige et feuille) de la plante et le tallage. Beaucoup de talles sont formées et une grande quantité d'azote intervient dans leur formation. L'azote restant n'est plus suffisant pour assurer l'apparition d'une panicule à chacune des talles existantes. Ce qui provoque une élévation de nombre de talles stériles ou sans panicules chez les plantes ayant reçu cet élément surtout lorsqu'il est combiné avec P ou K. L'élément P et sa combinaison avec K ont tendance à réduire le nombre de talles stériles. La combinaison NPK permet d'avoir un nombre moyen de talles stériles, donc elle sera à adopter pour la fertilisation de la rizière de la région.

5223 – Conclusion

Le nombre de talles stériles représente 6 à 10 % des talles par touffe.

L'apport simultané des trois éléments NPK réduit le nombre de talles stériles, donc ces trois facteurs sont nécessaires en riziculture de la région.

523 - Hauteur de la plante**5231 - Résultats**

Figure 7 : Hauteur de la plante correspondant aux traitements témoin, N, P et K**Figure 8 : Hauteur de la plante relative aux traitements NP, NK, PK et NPK**

La hauteur, en cm, a été mesurée aux mêmes époques que le nombre de talles par touffe sur 3 touffes par parcelle élémentaire. Les résultats moyens de mesures par période de végétation sont rapportés dans le tableau 8 en annexe 5. Le chiffre donné est chaque fois la moyenne des 4 répétitions.

5232- Interprétation

Les différences significatives entre traitements apparaissent déjà dès le 28^{ème} jour après le repiquage.

A cette période, le traitement sans azote et à phosphore nul est significativement inférieur par rapport aux traitements avec 90 unités de N et 60 unités de P. Le potassium a un effet significatif sur la hauteur de la plante à ce stade. A 45 jours après le repiquage, les traitements avec azote ou avec phosphore sont significativement supérieurs par rapport aux traitements sans l'un de ces deux éléments. Les interactions ne sont pas significatives aux deux périodes. Soixante seize jours après le repiquage, il y a des différences hautement significatives entre les deux niveaux de N et significatives entre les deux niveaux du phosphore. On constate l'absence d'interaction. A la récolte, la situation n'a pas sensiblement changée. L'interaction est toujours non significative. L'effet des autres combinaisons n'apparaît pas. Dans l'ensemble, des différences hautement significatives existent entre les deux doses de phosphore : 0 et 60 kg de phosphore/ha et les deux niveaux d'azote : 0 et 90 kg d'azote/ha. Les éléments fertilisants N, P et K, ensemble, permettent d'obtenir l'optimum de croissance de la plante et n'ont pas provoqué la verse de la plante.

5233 - Conclusion

En conclusion, on peut admettre, que pour la croissance du riz, seul l'apport d'azote et de phosphore produit un effet significatif ou bien marqué sur ce caractère. Ces facteurs n'ont pas d'interaction positive sur la croissance du riz dans la région Sud-Ouest. L'utilisation des trois facteurs, azote, phosphore et potassium, sera à conseiller dans la région pour une croissance et développement normale de la plante du riz.

524 - Production de matière sèche

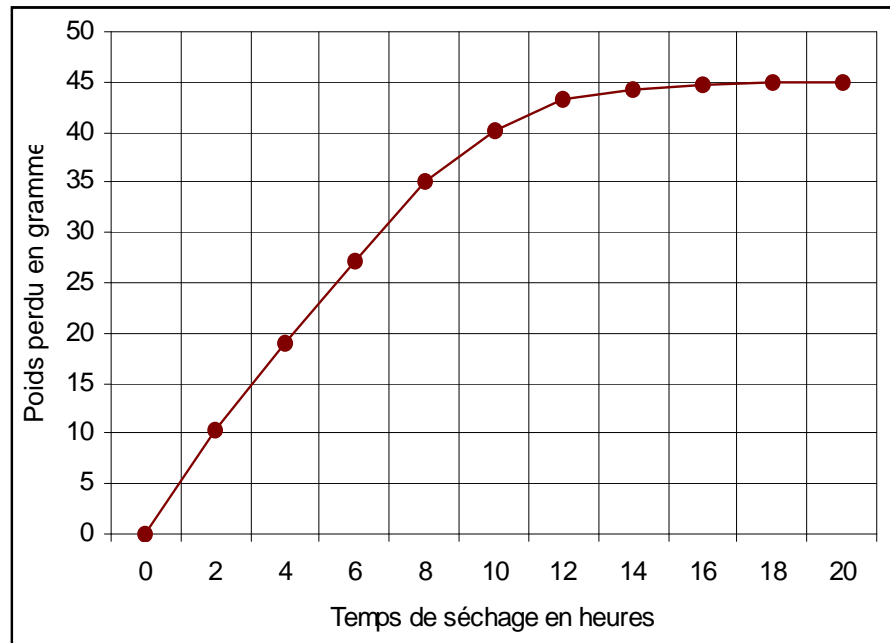
Pour obtenir un rendement élevé en paddy, la croissance et le développement du riz à différents stades de végétation devraient être réalisés d'une façon adéquate. Ce développement équilibré se reflète dans une valeur élevée de l'indice de récolte (rapport entre rendement économique (grains) et du rendement biologique (paille + grains = matière sèche totale).

5241 - Perte de poids en gramme des touffes lors du séchage à l'étuve à 70 °C

Une détermination préalable du temps de séchage à l'étuve 70 °C a été effectué avec un échantillon de 12 touffes, prélevées dans la parcelle correspondant à la fumure complète NPK là où le nombre de talles par touffe est le plus élevé. Toutes les 2 heures, le poids des 12 touffes a été noté jusqu'au moment où il devient stable pour connaître la perte de poids en gramme des touffes lors du séchage. Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous

.a – Résultats

Figure 9 : Perte de poids des touffes séchées



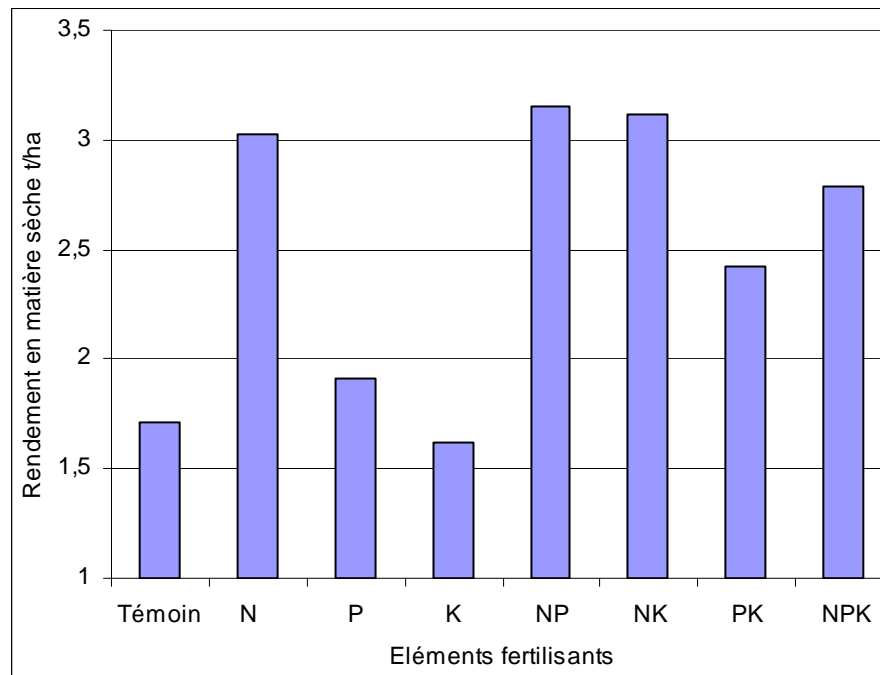
b – Conclusion

Les données indiquent que 20 heures de temps sont suffisantes pour stabiliser le poids de la matière sèche. Cette courte durée est due au séchage préalable à l'air des touffes échantillon avant leur passage à l'étuve 70°C.

5242 - Production de matière sèche à 50 jours après le repiquage

La tige et la feuille, formant la matière sèche, jouent un rôle important dans la vie de la plante du riz. Elles interviennent dans la fabrication des éléments qui sont indispensables à la plante. Alors, cette étude renseigne sur les effets des facteurs N, P et K apportés sur la quantité de matière sèche produite durant la période de tallage. Les prélèvements ont été effectués, à 50 jours après le repiquage, sur 12 touffes par parcelle élémentaire de 20 m², bordure exclue. Après le séchage à l'air, ces touffes ont été séchées à l'étuve à 70°C. Les rendements en matières sèches (t/ha) sont donnés dans la figure 10. Chaque chiffre représente la moyenne des 4 répétitions.

a - Résultats

Figure 10 : Rendement moyen de matière sèche à 50 jours après le repiquage**b - Interprétation**

Les résultats de l'analyse statistique montrent qu'à ce stade de végétation, l'azote et le phosphore ont des effets significatifs sur la production de matière sèche.

Aussi, les effets d'interaction triple N P K apparaissent d'une façon hautement significative sur la production de la matière sèche au stade de tallage.

La combinaison NP et NK donnent les rendements les plus élevés de matière sèche. Le potassium se trouve en dernier du classement des traitements dans la production de matière sèche au tallage.

c - Conclusion

Au stade tallage, l'azote et sa combinaison avec le phosphore ou avec le potassium jouent un grand rôle, dans la production de matière sèche du riz. L'apport de N seul ou sa combinaison avec P ou K donne le rendement élevé en paille. A ce stade, la matière sèche constitue la partie aérienne de la plante qui est le siège de divers phénomènes intervenant dans la vie de la plante. Grâce à l'interaction des trois éléments NPK, on pourrait obtenir une quantité de matière sèche totale, en équilibre avec la quantité de paddy. Cette fumure complète permet donc l'obtention d'un rendement favorable en grains.

525 - Indice de Surface Foliaire [ISF]

La surface totale des feuilles de riz est un facteur ayant un rapport étroit avec la production de grains de paddy. Au stade de floraison, elle affecte énormément la quantité disponible des produits de la photosynthèse pour les panicules qui assurent la formation

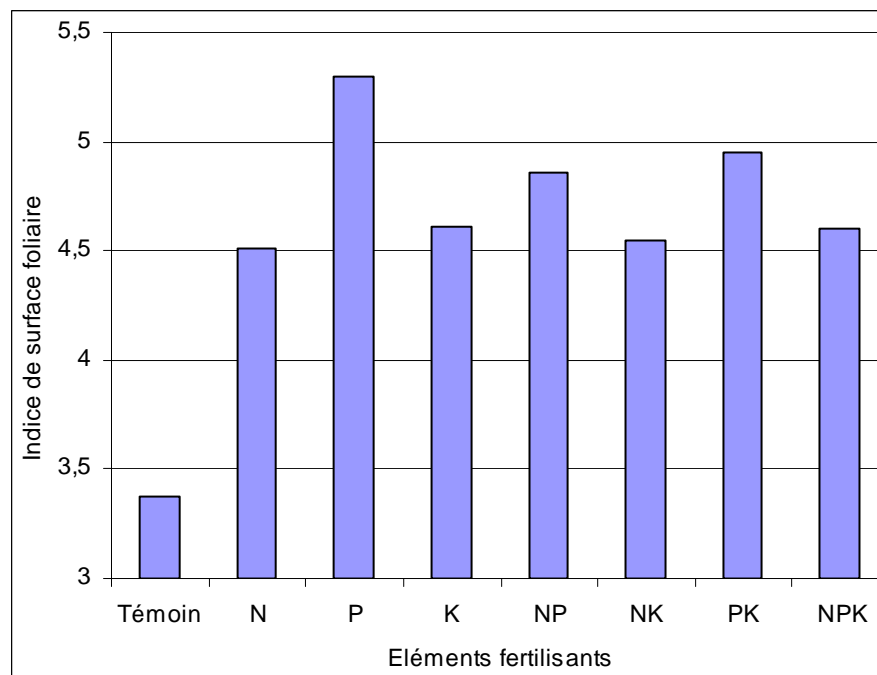
des grains. On connaît que 75 à 80 % de carbohydate dans les grains sont photosynthétisés après la floraison (Ishizuka et Tanaka, 1953, Welbank et al, 1968, Yoshida et Ahn, 1968). Muraton 1969, montre qu'un indice élevé est souhaitable pour accroître le nombre de grains pleins ou normalement remplis. Les engrais apportés au riz ont des effets sur la surface des feuilles, donc sur l'indice. Ainsi, il est nécessaire d'analyser l'effet des éléments nutritifs apportés sur l'Indice de Surface Foliaire. Cet indice s'exprime de la façon suivante (Gomez, 1972)

$$ISF = \frac{\text{Somme des surfaces foliaires par touffes mesurées sur un échantillon de touffes (cm}^2\text{)}}{\text{Surface du sol couverte par les touffes (cm}^2\text{)}}$$

Les résultats de mesure sont donnés en annexe 5, tableau 30. Les indices moyens sont présentés dans la figure ci-dessous.

5251 - Résultats

Figure 11: Indice moyen de surface foliaire



5252 - Interprétation

La variété n° 2798, utilisée comme plante-test est photosensible bien qu'elle soit la plus cultivée dans la région en saison pluvieuse. Elle fleurit au mois d'avril puisque le raccourcissement des jours au-dessous de 12 heures déclenche à ce mois la floraison. Elle mûrit au mois de mai. Le semis en pépinière a été effectué tardivement.

Le développement végétatif de la plante est réduit et les feuilles n'ont pas atteint leurs dimensions normales. En conséquence les valeurs de l'ISF obtenues au moment de la floraison n'ont pas permis de déterminer la valeur optimum de l'ISF. En outre, la valeur optimum de l'ISF au moment de la floraison n'est pas fixe et ne saurait être déterminée une fois pour toutes pour les raisons suivantes :

- elle dépend de l'intensité lumineuse qui sera disponible au cours de la période floraison - maturité ;
- pour un développement végétatif donné (valeur ISF donnée), le rendement en paddy est fortement influencée par l'éclairement global (source d'énergie pour la photosynthèse) reçu au cours de la période épiaison-récolte, donc par la longueur de cette période.

Le meilleur rendement en paddy est obtenu pour une valeur de ISF égale à 4,35 qui correspond au traitement NPK. Mais cette valeur de ISF donnant le rendement maximum ne constitue pas une valeur optimum de l'ISF.

Dans cette situation, au-dessous de cette valeur de l'ISF donnant le maximum de rendement en grains, la rizière ne dispose pas d'une surface photosensible suffisante pour utiliser pleinement l'éclairement disponible et donner le meilleur rendement en paddy. Au-dessus de cette valeur, les feuilles, dont l'activité respiratoire globale est fonction de la surface, se font mutuellement ombrager et le rendement en paddy semblent encore faible. L'intensité lumineuse dont les feuilles disposent diminue et la photosynthèse cesse d'être proportionnelle à la surface des feuilles et le bilan photosynthèse-respiration diminue, au détriment du rendement. Les effets de l'azote, du potassium et du phosphore sont significatifs. Le phosphore donne le maximum d'indice. Un effet d'interaction des trois facteurs N P K est hautement significatif sur l'indice ce qui montre que la surface des feuilles est fonction de la combinaison de ces trois éléments fertilisants.

5253- Conclusion

Ensemble, les facteurs N, P, K donnent un indice favorable à la production de grain de paddy, donc cette combinaison est à prendre comme fumure en riziculture de la région.

53 - Observations réalisées au moment de la récolte

531 – Rendements en grains de paddy secs à 14% d'humidité (t/ha)

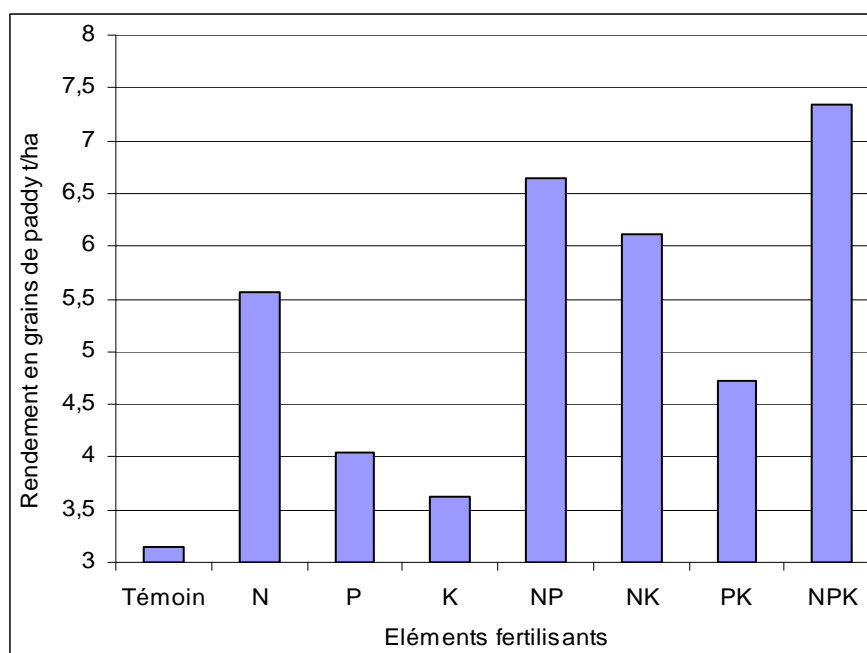
5311 - Résultats

Les données de mesure se trouvent en annexe 5, tableau 16. Les rendements moyens sont représentés dans la figure 12.

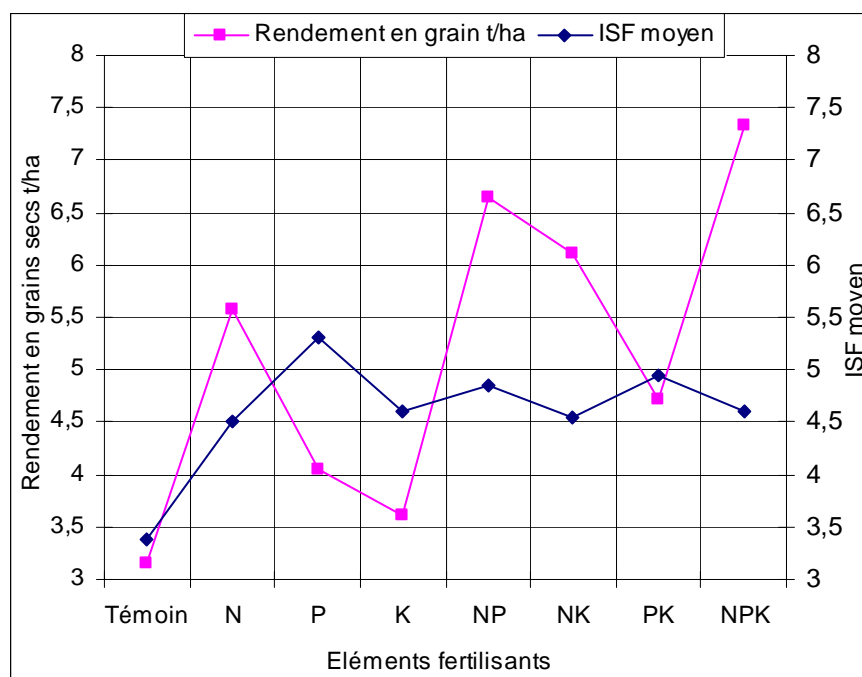
5312– Interprétation

Le tableau de l'analyse de la variance des rendements en grains révèle une différence hautement significative pour les trois facteurs azote, phosphore et potassium, chacun pris séparément. Le classement des moyennes met en évidence la supériorité des traitements avec les facteurs azote, phosphore et potassium à ceux sans l'un de ces trois facteurs. Par rapport au témoin, N seul augmente le rendement de 2.42 t/ha, K provoque une augmentation de 0.47 t /ha et P séparément de 0.9 t/ha. Lorsque N et P agissent ensemble, le rendement est poussé de 3.49 t/ha. Les deux éléments P et K, utilisés ensemble, donnent une réponse égale à 1.57 t/ha.

Figure 12 : Rendements moyens en grains de paddy secs à 14% d'humidité (t/ha)



Les interactions n'existent pas, seuls les effets additifs de 2 ou 3 facteurs apparaissent Ensemble , les trois éléments N,P,K augmentent les rendements de 4.19 t/ha. Les effets observés sont simplement additifs et l'analyse statistique des rendements en paddy prouve qu ' il n'existe pas d'interaction entre les facteurs N, P, K (sans interaction de 1^{er} et 2^{ème} ordre). Les effets des trois éléments N, P et K sont indépendants.

Figure 13 : Relation entre indice de surface foliaire et le rendement en paddy

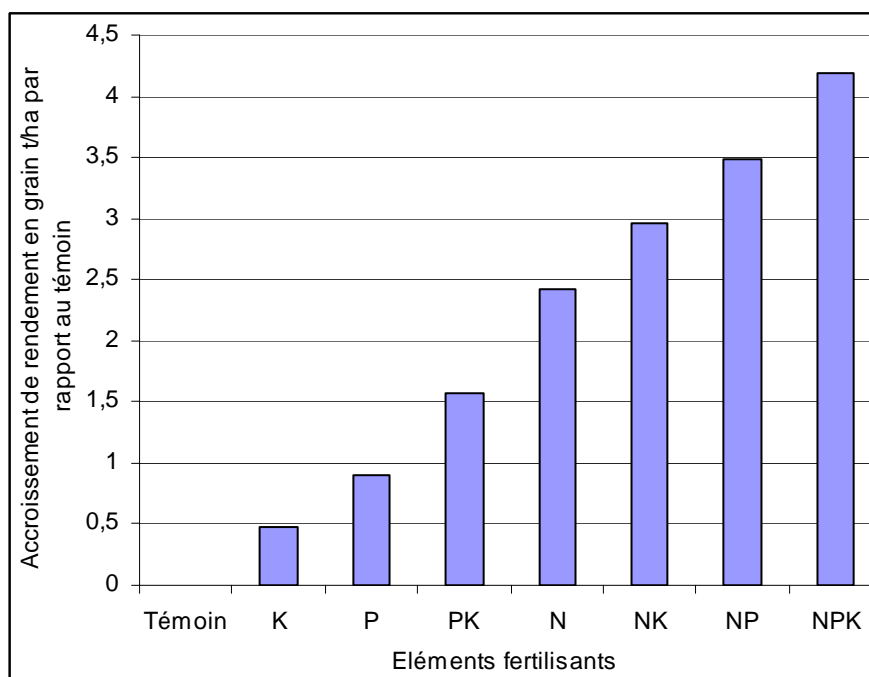
Les deux courbes montrent que lorsque l'indice est faible, le rendement s'élève quelle que soit la fumure considérée. Les valeurs de l'indice varient très faiblement pour les fumures azotée, potassique et les combinaisons des trois facteurs étudiés.

5313 - Conclusion

En guise de conclusion, on pourrait dire que l'effet de chacun des facteurs N, P, K sur le rendement en grain de paddy est hautement significatif. Mais leurs effets restent indépendants les uns des autres car ils sont simplement additifs. La combinaison NPK donne le maximum de rendement en grain de paddy sec. Alors, malgré l'absence d'interaction entre ces trois éléments, leur apport combiné est à conseiller dans la région.

5314 – Accroissement de rendement en paddy par rapport au témoin

La figure 14 ci-dessous montre que tous les traitements ont augmenté les rendements en paddy par rapport au témoin. Les suppléments de rendement obtenus par rapport au témoin sont de l'ordre 4.19 à 0.47 t/ha. La potasse, le phosphate et leur combinaison ont des actions réduites sur le rendement et donnent une augmentation faible par rapport au témoin. Ces traitements ne sont pas efficaces sur le type de sol considéré. Les traitements avec azote procurent des rendements élevés et les plus grandes augmentations de rendement en paddy sec par rapport au témoin étaient obtenues sur les parcelles NPK et NP, cela correspond d'ailleurs aux plus fortes augmentation de paille sèche .

Figure 14 : Accroissement de rendement en paddy par rapport au témoin

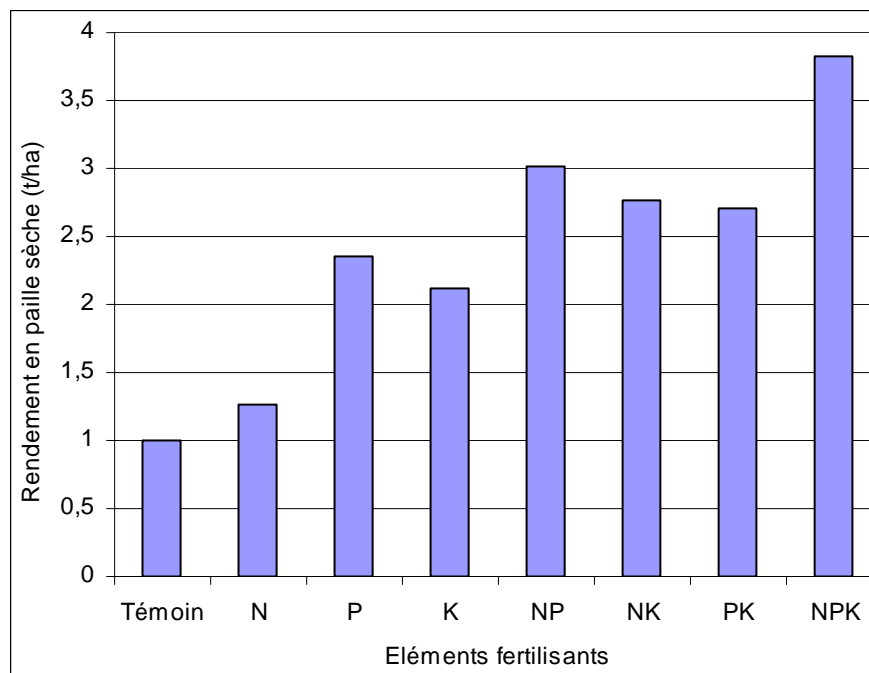
Le graphique montre que l'accroissement de rendement en paddy est très faible aussi bien pour la fumure potassique et la fumure phosphatée, utilisée seule que pour leur combinaison. L'azote et les autres termes NP, NK, NPK donnent des rendements en paddy élevés vis à vis du témoin, en particulier l'association des trois facteurs NPK.

532 - Rendement en paille sèche en t/ha au moment de la récolte

La tige et la feuille, partie aérienne du riz, constituent la paille. La paille et les grains de paddy forment la matière sèche totale du riz. La connaissance de ces rendements en matière sèche totale permet de comparer les influences d'azote, de phosphore et de potassium sur la paille produite et les grains de paddy obtenus ainsi que leur rapport. Elle rend possible la compréhension de la relation entre la croissance de la partie végétative et la formation des grains de la plante. Le rendement en paille était mesuré comme pour les grains de paddy. Les résultats en tonne par hectare et par répétition au moment de la récolte sont portés dans le tableau 28, annexe 5.

5321 – Résultats

Figure 15 : Rendement moyen en paille sèche au moment de la récolte



5322 - Interprétation

L'analyse statistique permet de déceler des différences significatives entre les traitements. L'effet principal de l'azote est hautement significatif bien marqué.

Un effet d'interaction N x P sur le rendement en paille et une interaction triple NPK sont nettement indiqués par les données observées.

L'interaction triple est positive pour produire le meilleurs rendements en paille sèche. Combiné ou non, l'azote joue un rôle important dans la formation des pailles en riziculture. Les plus grandes augmentations de rendement en paille sèche par rapport au témoin ont été obtenues sur les parcelles NPK et NP. Cela correspond d'ailleurs aux plus fortes augmentations de rendement en paddy par rapport au témoin.

5323- Conclusion

La fertilisation en éléments minéraux complets NPK des rizières semble nécessaire car elle donne à la fois la quantité élevée des paddy et de paille qui sert pour alimentation de bétail ou à d'autres utilisations.

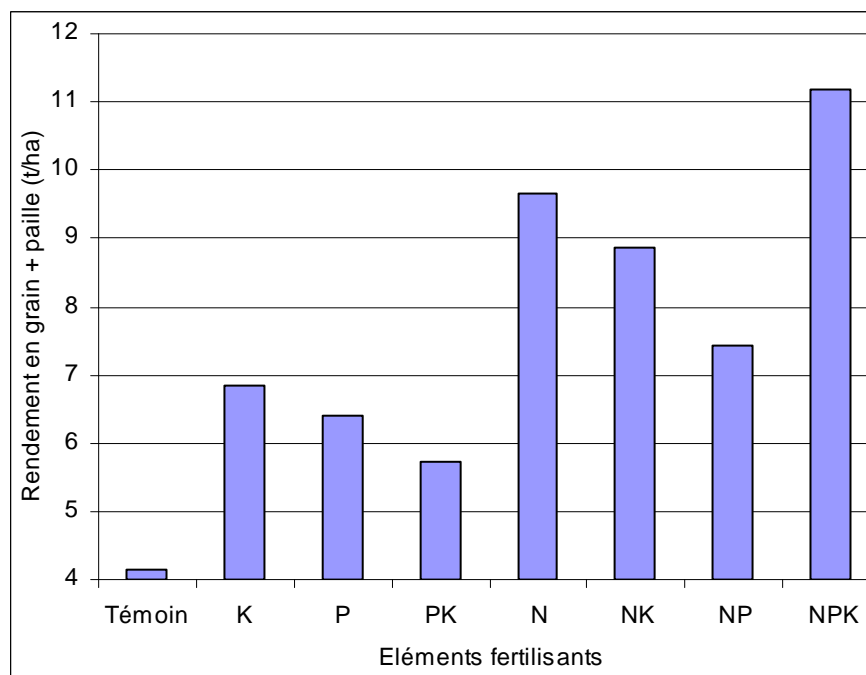
533 - Rendement de matière sèche totale (grain + paille)

A la récolte, la matière sèche totale (grain + paille) a été mesurée.

5331- Résultats

Les rendements en matière sèche totale (paille + grains) en t/ha pour chaque répétition sont donnés en annexe 5, tableau 29. Le graphique ci-dessous représente les rendements moyens obtenus de matière sèche totale en fonction de la fumure apportée.

Figure 16 : Rendement en matière sèche totale (grain + paille)



5332 - Interprétation

L'analyse statistique montre que l'essai présente des différences significatives entre les traitements.

Ensemble, les trois éléments N, P et K, grâce à leur interaction, donnent la plus grande quantité de matière sèche totale que chacun pris séparément. Cette action combinée correspond au meilleur rendement en grain obtenu.

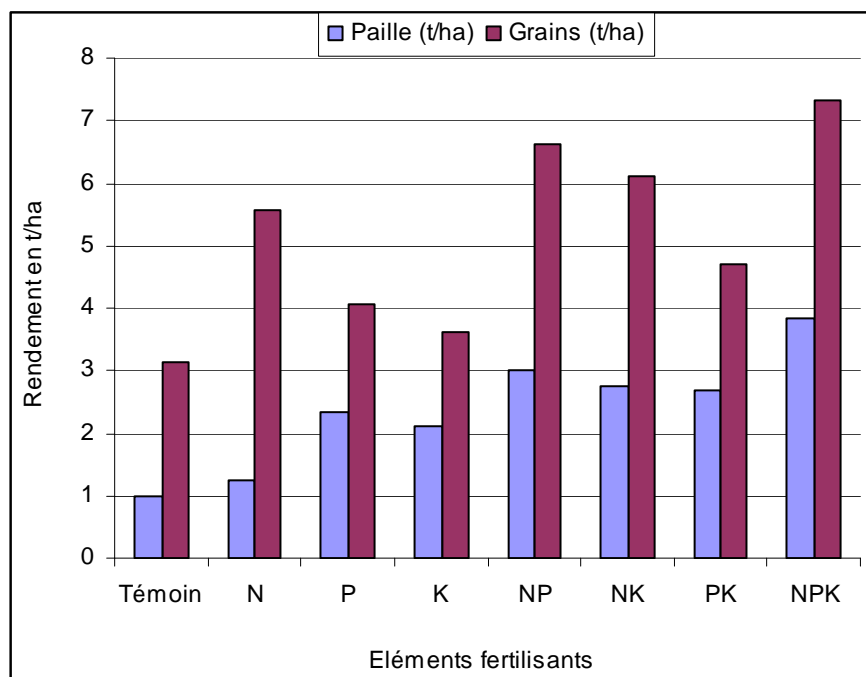
5333- Conclusion

L'utilisation ensemble des trois facteurs N, P, K est nécessaire en culture du riz car leur action combinée favorise l'équilibre entre la matière végétative et les grains produits.

534 - Liaison entre Rendement en paddy et Rendement en pailles

Tableau 9 Corrélation entre les rendements en paddy et paille

Corrélation entre le rendement en paille et le rendement en paddy	Coefficient de corrélation calculé « r »	Coefficient de corrélation théorique		Signification
		5%	1%	
	0.975	0.707	0.834	Hautement significatif

Figure 17 : Liaison entre rendement en paddy et rendement en pailles

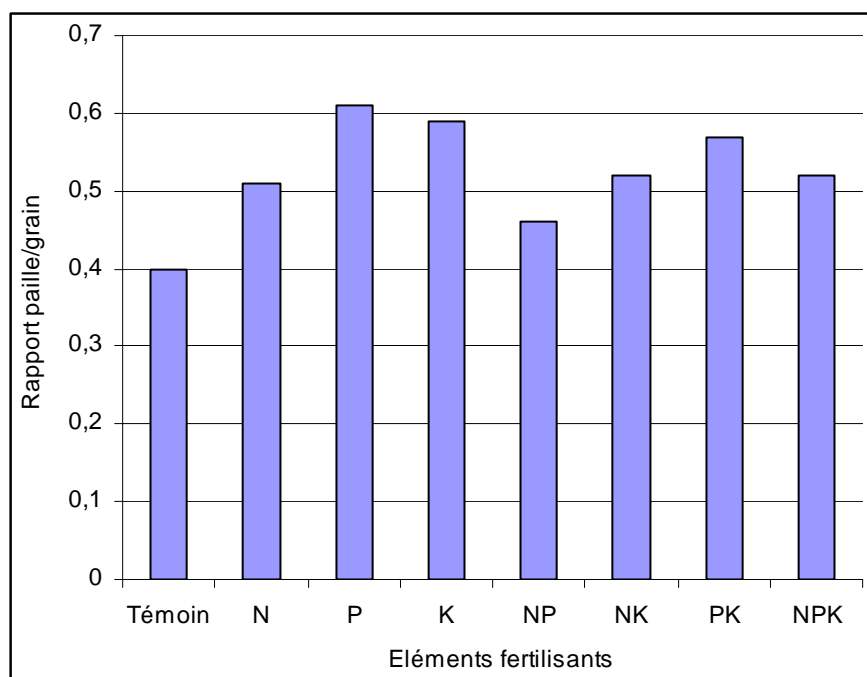
On retrouve une corrélation positive hautement significative entre les rendements en paille et les rendements en paddy. Les deux catégories de rendements montrent que plus la quantité en paille est grande, plus les rendements en paddy sont élevés.

535 - Rapport Paille/Grain

Ce rapport nous permet de mieux comprendre la relation entre les productions de grains et paille en apportant les éléments nutritifs dans les rizières.

5351- Résultats

Les résultats détaillés de ce rapport se trouvent en annexe 5, tableau 18. Seuls, les rapports moyens sont montrés dans la figure 18 ci-après.

Figure 18 : Rapport Paille/Grain**5352 - Interprétation**

Les résultats d'analyse statistique révèlent des différences significatives entre les traitements. L'apport séparément des trois éléments N, P et K donne un rapport supérieur à 0.5. Des actions synergiques existent entre les trois facteurs. Elles favorisent la diminution du rapport en diminuant la paille et élevant les grains.

5353- Conclusion

Ensemble, les trois éléments N, P, K dont l'interaction est positive et qui donnent un rapport paille/grain moyen, tendent à équilibrer la croissance de la plante et la formation des grains. Leur apport en rizière de la région aidera donc les paysans à maintenir l'équilibre nutritionnel de la plante.

536 - Indice de Récolte (IR %)

L'indice de récolte, exprimé en pourcentage, étant le rapport entre le rendement en grains de paddy (ou rendement économique) et la somme des rendements en pailles et en grains (ou rendement biologique).

$$IR (\%) = \frac{\text{Rendement grains}(G)}{\text{Rendement grains}(G) + \text{Rendement paille}(P)} \times 100$$

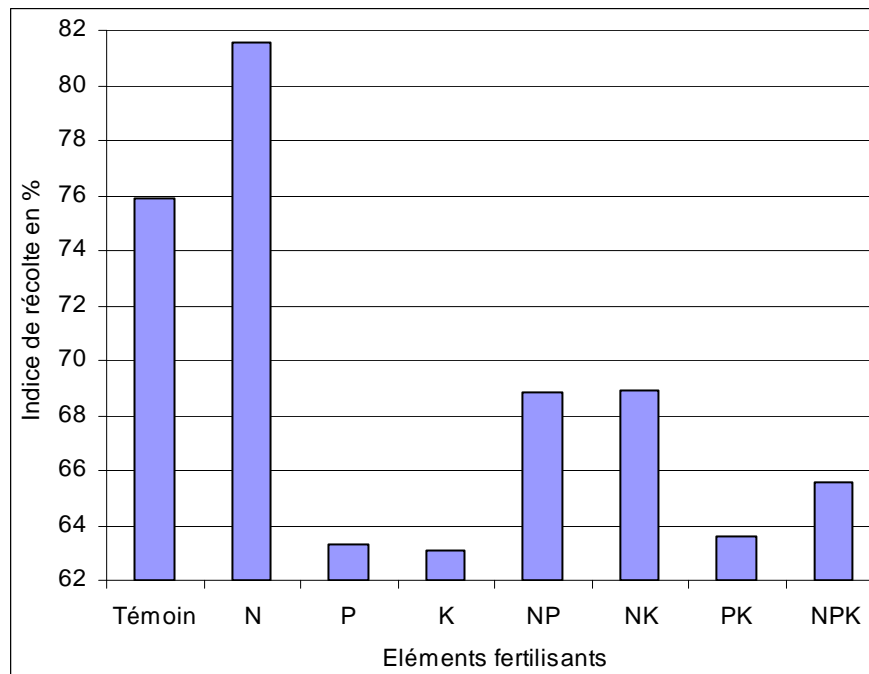
Si $IR > 50\%$ $\implies G > P$: développement des grains et réduction de matière sèche.

Si $IR < 50\%$ $\implies G < P$: partie végétative trop développée par rapport à la formation des grains.

5361 - Résultats

Les indices détaillés sont mentionnés dans le tableau 17 de l'annexe 5. La figure 19 montre les résultats moyens de ces indices exprimés en pourcentage.

Figure 19 : Indice de Récolte (IR %)



5362 - Interprétation

L'analyse statistique montre une différence significative entre les traitements. Les indices obtenus sont supérieurs à 50%. La formation des grains semble favoriser par l'apport des fumures. L'indice est très élevé pour le traitement azote, signifie que l'azote a un effet important dans la formation des grains. L'indice très élevé du témoin semble aussi signifier que l'azote du sol est déjà suffisant.

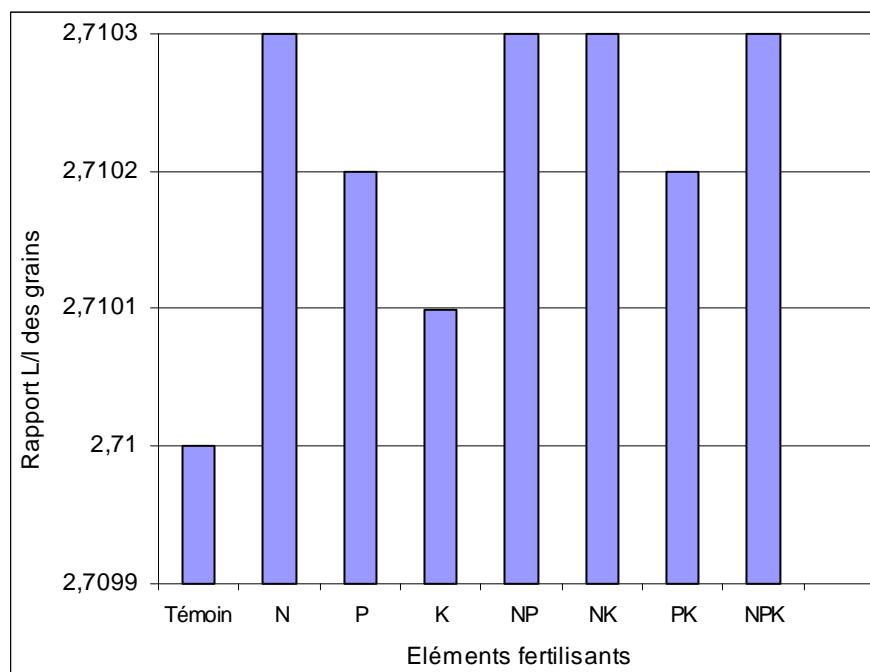
D'après ces données, il semble que la fertilisation à recommander dans la région est N ou à la rigueur NP ou NK avec une faible dose d'azote.

537 – Rapport longueur/largeur des grains de paddy

La plante-test a des grains du groupe des grains demi courts dont le rapport L/l est égal à 2,5. Les mesures sont effectuées sur 100 grains, pris au hasard, dans la totalité des grains de chaque parcelle. Les résultats de la mensuration de la dimension des grains et des rapports qui en découlent sont montrés dans le tableau 19, annexe 5.

5371 - Résultats

Figure 20 : Rapport Longueur/largeur des grains de paddy



Les semences de départ ont un rapport Longueur/largeur de grain égal à 2.71

5372 - Interprétation

Le coefficient de variation est faible ($CV = 4,7\%$). Il n'y a pas de différences significatives entre les traitements. Les engrais appliqués n'agissent pas de façon significative sur le rapport de ces deux dimensions de grain.

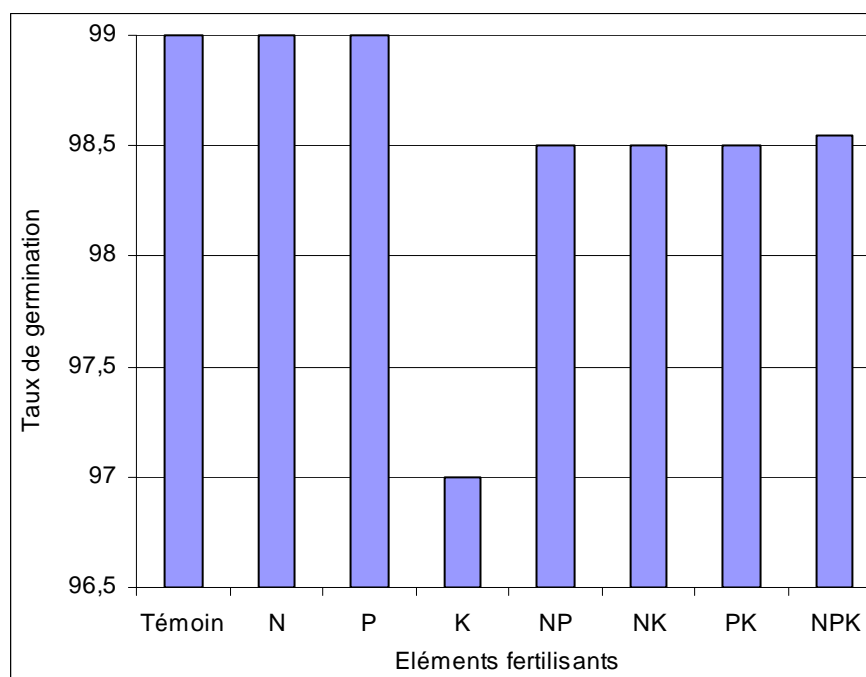
5373 – Conclusion

En conclusion, nous pouvons dire que la fertilisation, même la fumure minérale complète NPK, ne provoque aucune modification de la dimension de grains de paddy.

538 - Faculté germinative

5381– Résultats

La figure 20 montre le taux moyen de germination de la variété utilisée comme plante-test, dans cette expérimentation. Les données relatives aux différentes répétitions sont mentionnées au tableau 15 de l'annexe 5.

Figure 21 : Taux de germination de la variété n°2798**5382 – Interprétation et conclusion**

Les résultats de l'analyse statistique montrent que tous les pourcentage de germination dépassent 96%. L'apport du potassium a un effet significativement différent sur la faculté germinative de la variété utilisée. Mais sa combinaison avec les autres éléments semble augmenter le taux de germination.

539 – Composantes de rendement en grains de paddy

Rappelons que le rendement en paddy d'une culture de riz est le produit du nombre de panicules à l'hectare par le poids moyen de paddy fourni par panicule.

Rendement en grain = Nombre de panicules à l'unité de surface x Nombre de grains par panicule x Pourcentage des grains pleins x Poids de 1000 grains.

Le nombre de panicules correspond au tallage fertile. Le poids moyen de paddy par panicule ne doit porter que sur les grains normalement constitués.

Cette expression du rendement conduit à examiner tous les éléments ou composantes qui conditionnent le poids de paddy par panicule et le nombre de panicules à l'unité de surface.

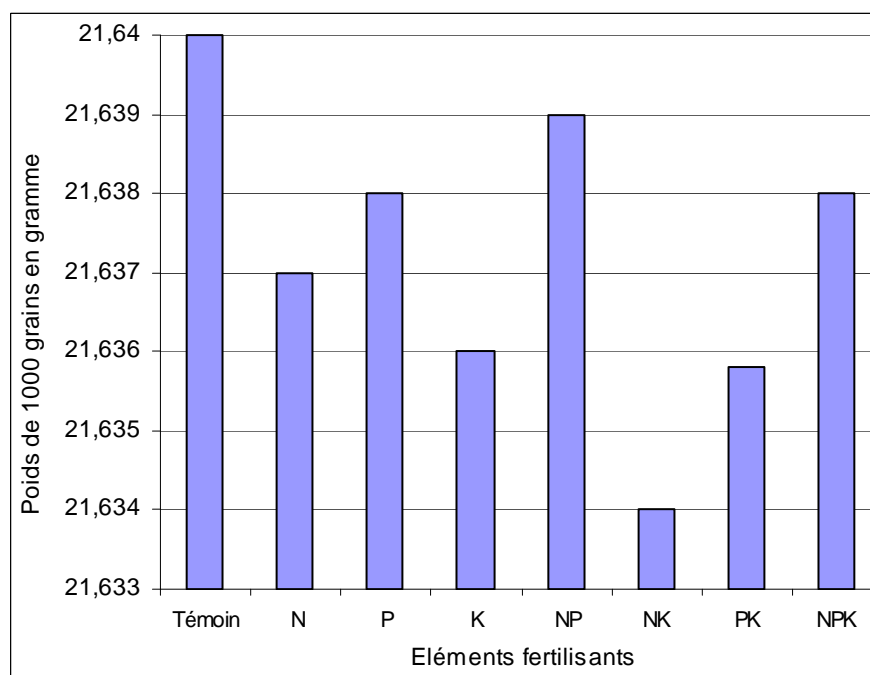
5391 - Poids de 1000 grains en gramme ajustés à 14 % d'humidité

Le poids des grains totalement développés est rapporté sur la base de 1000 grains. Il est donné en gramme dans le tableau 25 de l'annexe 5.

a – Résultats

Les résultats sont présentés par l'histogramme de la figure 22.

Figure 22 : Histogramme des poids de 1000 grains



b – Interprétation et conclusion

Il n'y a pas de différence significative entre les traitements selon les résultats de l'analyse statistiques par la méthode de bloc simple. Les engrais appliqués n'ont pas d'influence sur le poids de 1000 grains.

c – Conclusion

On peut conclure qu'aucune des fumures testées n'a pas affecté le poids des grains d'une façon significative.

5392 – Nombre de panicules par touffe

On prend le nombre de panicules entièrement dégainées et portant des grains par plante ou touffe.

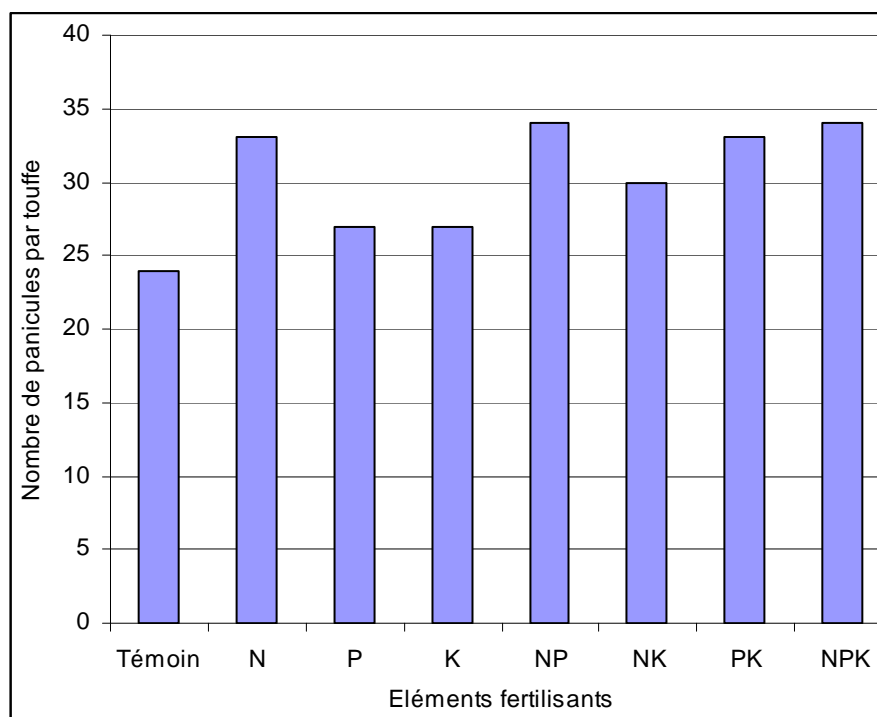
a – Résultats

Les résultats moyens du comptage sont présentés dans la figure 23 . Les détails sont donnés en annexe 5, tableau 20.

b – Interprétation

Il y a de différences significatives entre les traitements. L'azote a un effet hautement significatif sur la formation des panicules par touffe.

Le phosphore donne une réponse significative sur le nombre des panicules par touffe.

Figure 23 : Nombre de panicules par touffe

Aucune interaction entre les facteurs étudiés n'est observée dans la formation des panicules par touffe. L'azote, utilisé seul ou combiné avec l'élément P ou K ou les deux à la fois, donne le nombre élevé de panicule par touffe. Ensemble, les éléments P et K permettent aussi d'avoir plusieurs panicules par touffe.

c – Conclusion

La fumure minérale complète NPK favorise la formation des panicules par touffe. Son apport en culture irriguée du riz dans la région est à souhaiter ou à défaut on utilise la formule NP.

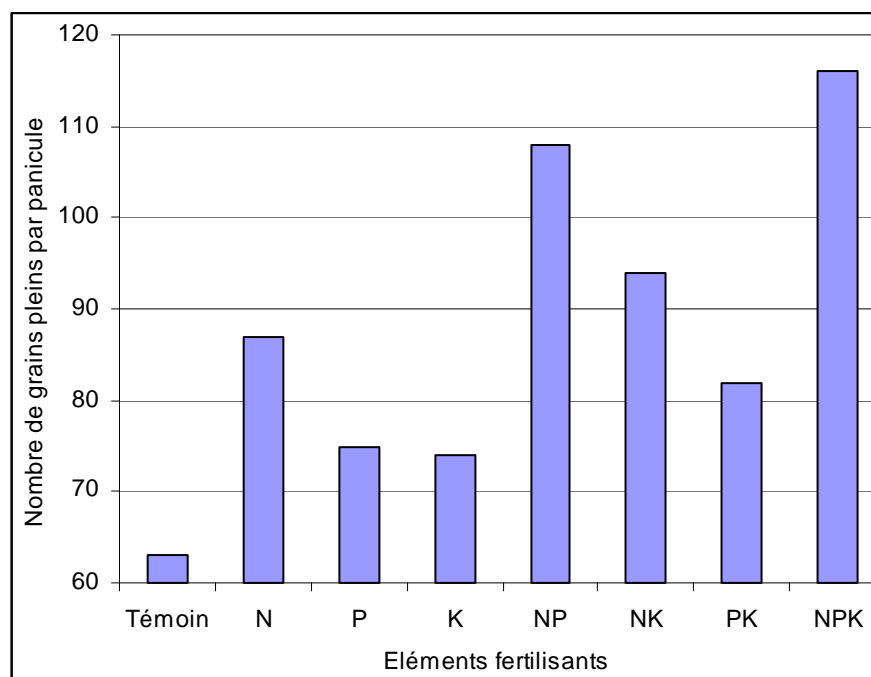
5393 - Nombre moyen de grains remplis par panicule

a – Résultats

La figure 24 représente les résultats.

b - Interprétation

Les résultats montrent que l'azote et sa combinaison avec les deux autres permettent d'avoir le plus de grains remplis par panicule. Combinés ou apportés seuls, le phosphore et le potassium donnent un nombre de grains supérieurs à celui du témoin, tout en restant inférieurs à ceux des fumures azotées.

Figure 24 : Nombre de grains remplis par panicule**c – Conclusion**

L'engrais contenant les trois éléments fertilisants N, P et K sera à prévoir en riziculture pour obtenir le plus grand nombre de grains pleins par panicule.

5394 - Pourcentage de grains vides par panicule**a - Résultats**

Les pourcentages de grains vides par panicule sont présentés dans le tableau 21 de l'annexe 5. La figure 25 donne une représentation du taux moyen de ces grains vides.

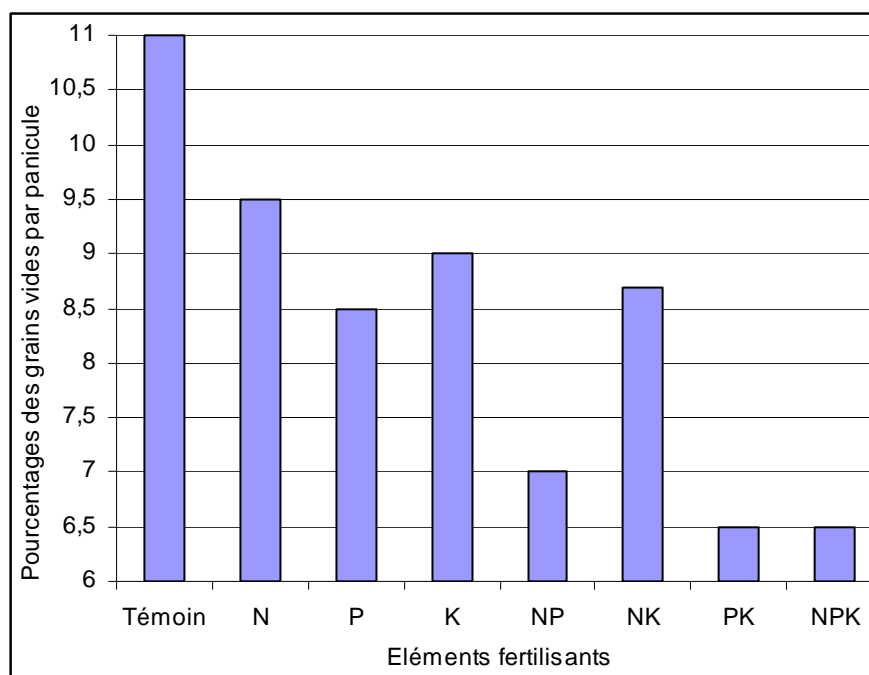
b - Interprétation

Les résultats montrent que le témoin et l'apport d'azote seul ont les pourcentages de grains vides les plus élevés.

Dans le cas de l'azote, cette réponse provient de la formation retardée de certaines panicules qui vont donner par la suite des grains mal formés ou complètement vides. Pour le témoin là où aucun apport d'engrais n'était pas fait, il n'y a pas suffisamment d'élément nutritif pour assurer la formation complète des grains de paddy.

c- Conclusion

L'apport ensemble d'azote, de phosphore et du potassium en rizière pourrait réduire le nombre de grains vides ou mal formés. Cet engrais sera à prescrire dans la fertilisation des rizières de la région.

Figure 25 : Taux moyen des ces grains vides par panicule

54 - Analyse des végétaux

Le rendement représente l'expression finale de l'activité végétale relativement à la production des grains de paddy, organes utilitaires recherchés. Il est fonction de la croissance, elle-même sous la dépendance étroite du mode d'alimentation de la plante. L'analyse des végétaux est une méthode qui sert à mettre en évidence la façon dont la plante s'est alimentée durant son développement.

541 - Le diagnostic foliaire

Le diagnostic foliaire (BRUNEL. A 1948), conduisant à des résultats rapides et ayant une portée suffisante, a été proposé pour contrôler et caractériser le mode d'alimentation des plantes cultivées du riz dans le milieu naturel.

Cette méthode est basée essentiellement sur la comparaison du mode de nutrition de feuilles de même âge physiologique provenant de plantes cultivées sur des parcelles soumises à des traitements différents. Elle consiste à analyser des feuilles homologues (*celles qui occupent le même rang sur les tiges, donc de même âge physiologique*), prélevées en même temps sur un nombre suffisant de plantes normales par parcelle, ayant poussé dans les mêmes conditions et prises au hasard sur la parcelle tout entière, bordure exclue. Les feuilles sont séchées et broyées, ensuite on effectue le dosage sur la poudre obtenue. Les éléments N, P, K représentent un intérêt indéniable dans la nutrition de la plante, ainsi, l'étude porte le plus souvent sur ces trois éléments.

542 - Dosage des éléments nutritifs dans les feuilles

Les teneurs en azote total, en phosphore et en potassium ont été analysées à trois époques :

- cinquante jours après le repiquage, dans les feuilles qui participent et assurent en grande partie la photosynthèse des végétaux chlorophylliens ;
- au début de la floraison (lorsque les étamines sont apparentes sur les panicules) dans les feuilles paniculaires;
- au moment de la récolte, dans les grains.

Les méthodes de dosage des éléments N, P, et K sont décrites en annexe 6.

5421- Dosage de l'azote

a - Méthode

La méthode de dosage de l'azote total la plus applicable aux végétaux est celle qui repose sur le procédé de KJELDAHL.

b - Principe de la méthode

Par attaque de la substance (ou matière) végétale avec de l'acide sulfurique concentré, à chaud (ébullition), en présence de catalyseurs, l'azote des composés minéraux et organiques est transformé en sulfate d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Par distillation en présence d'un excès de soude, l'ammoniac libéré est entraîné et recueilli dans de l'acide borique puis titré.

c- Teneurs en azote dans les feuilles à 50 jours après le repiquage

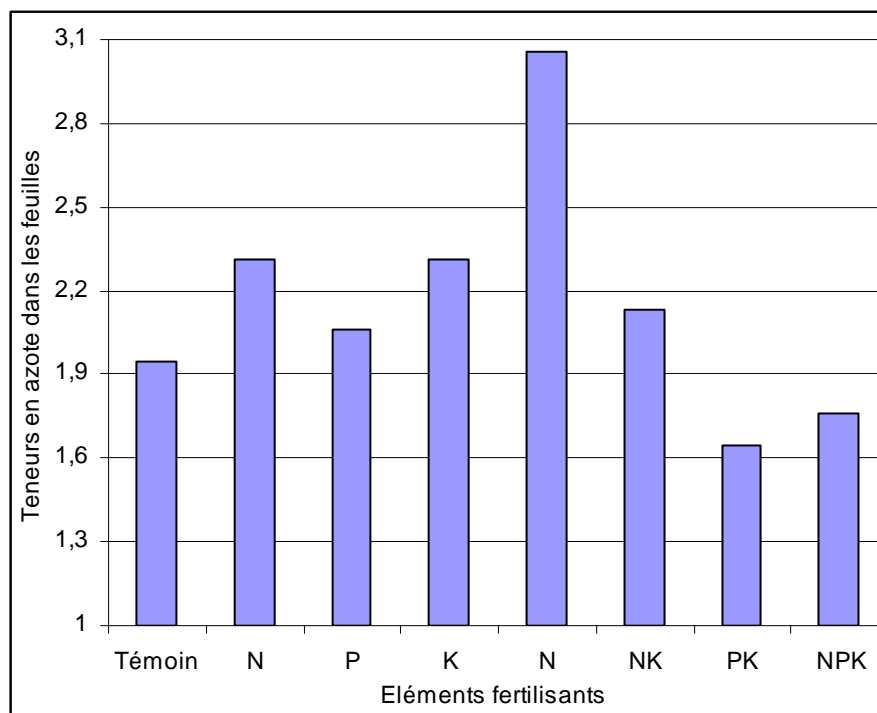
c₁ - Résultats

Les feuilles participent et assurent en grande partie la photosynthèse des végétaux chlorophylliens. Cette analyse a été faite pour connaître les teneurs en azote dans les feuilles durant la production de la matière sèche et pendant la croissance de la plante. L'azote total est dosé dans 50 feuilles au total par parcelle élémentaire soit 2 à 3 grammes de feuilles sèches. La figure 26 montre les teneurs en azote dans les feuilles à ce stade.

c₂ - Interprétation

Quelle que soit la formule de fertilisation appliquée, les teneurs en azote des feuilles au stade de tallage se trouvent au-dessous de 2.5% sauf pour la parcelle à NP. Le jugement global porté sur les effets des traitements permet de dire qu'il y a des différences significatives entre eux. Dans le détail, l'analyse des influences de chaque traitement montre que seul le potassium a un effet significatif.

Figure 26 : Teneurs en azote dans les feuilles à 50 jours après le repiquage (% matière sèche)



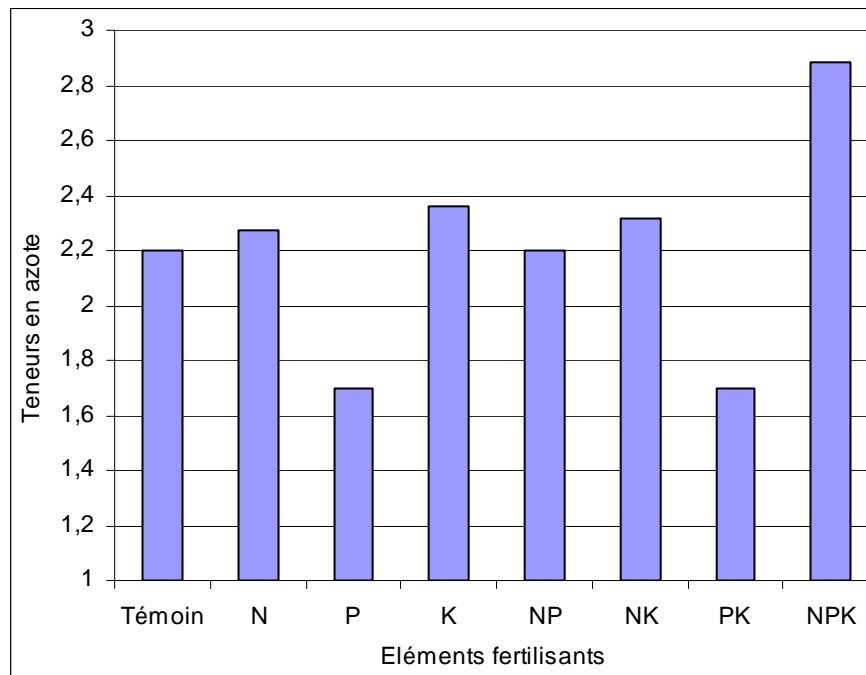
c₃- Conclusion

L'apport de l'élément fertilisant K améliore l'azote dans les feuilles au stade de tallage. Sa combinaison avec d'autres facteurs n'engendre que de faible teneur en azote à cette période.

d - Teneurs en azote total dans les feuilles au début de la floraison

Les teneurs en azote total ont été déterminées en analysant 50 feuilles, au-dessous de l'épi, appelées feuilles paniculaires, par parcelle. Les résultats figurent dans le tableau 34 en annexe 5.

d₁ – Résultats

Figure 27 : Teneurs en azote total dans les feuilles paniculaires (% en matière sèche)**d₂– Interprétation et conclusion**

Dans l'ensemble on observe des différences significatives entre les traitements. L'étude de l'effet de chaque traitement a permis de voir que l'azote seul et sa combinaison avec les éléments P ou K ou PK influent de façon significative sur la teneur de la feuille en azote au début de la floraison. A cette période de floraison, la teneur en azote qui correspond au rendement le plus élevé, est de 2.88 %. Cette teneur résulte de l'apport de la fumure complète NPK. On peut conclure que l'azote, pris séparément ou combiné avec les autres éléments, améliore l'absorption de l'azote par les feuilles paniculaires au stade de la floraison.

5422 - Dosage du phosphore**a -Méthode**

La méthode proposée pour le dosage de cet élément est la spectrophotométrie dans le domaine du visible.

b -Principe

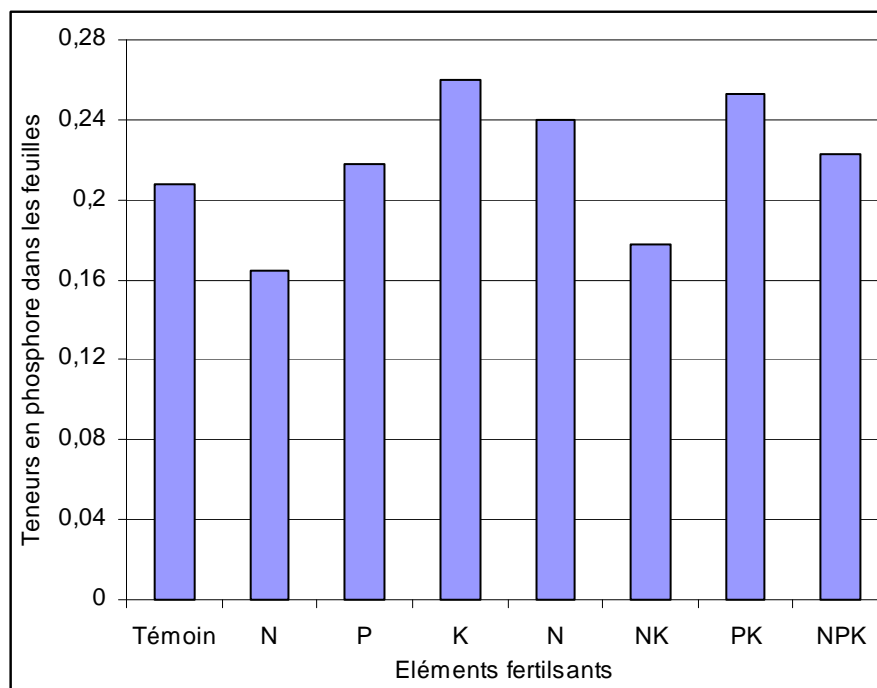
En solution acide, en présence d'ions vanadium (5^+) et molybdène (6^+), l'acide phosphorique donne un complexe phosphovanadomolybdique jaune, dont la densité optique est mesurée spectrophotométriquement à 430 μm .

c - Teneurs du phosphore dans les feuilles à 50 jours après le repiquage

La figure 28 représente les teneurs moyennes en phosphore, exprimées en % de la matière sèche. Les détails des teneurs sont mentionnés dans le tableau 32 en annexe 5.

c₁ -Résultats

Figure 28 : Teneurs en phosphore total à 50 jours après repiquage (% matière sèche)



c₂ – Interprétation

Des différences significatives n'apparaissent pas entre les traitements. Les teneurs de la feuille en phosphore, pour toute formule de fertilisation appliquée, sont toujours supérieures à 0.1%. On n'observe pas de déficience en phosphore dans les plants de riz à ce stade (voir annexe 6)

c₃ – Conclusion

A cette période, le potassium seul et les combinaisons NP, PK et NPK semblent améliorer les teneurs en phosphore de la plante.

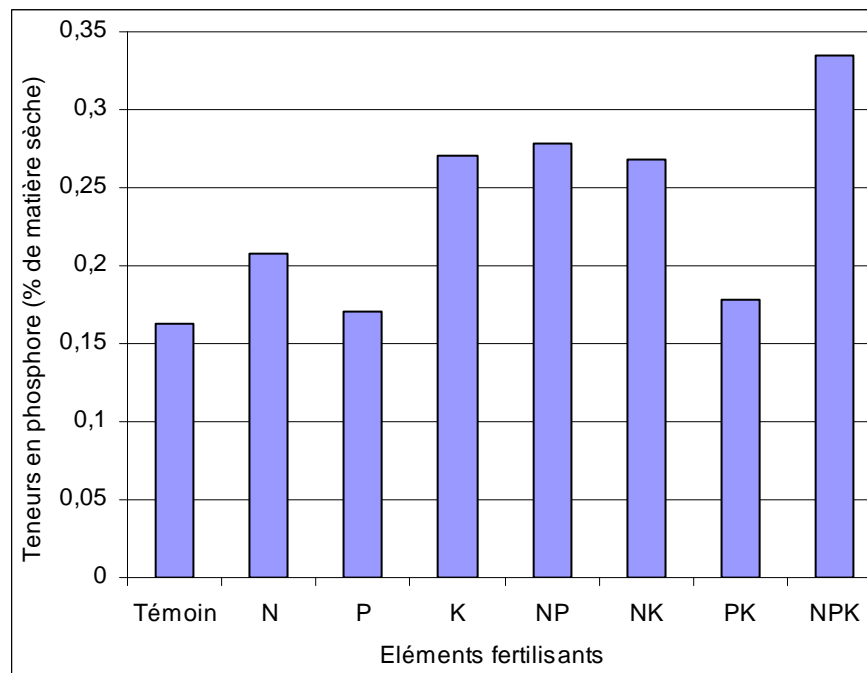
d - Teneurs en phosphore total dans les feuilles paniculaires

Ces teneurs, en % de matière sèche, figurent dans le tableau 35, annexe 5.

Les moyennes sont présentées sous forme de graphique (figure 29)

d₁ – Résultats

Figure 29 : Teneurs en phosphore total dans les feuilles paniculaires (% matière sèche)



d₂– Interprétation

L'analyse statistique montre des différences significatives entre les traitements. Chaque traitement étudié a une influence significative sur les teneurs du phosphore. Des interactions double et triple sont aussi significatives.

d₃ - Conclusion

L'apport des trois éléments en riziculture favorise l'absorption de l'élément phosphore par la plante au début de la floraison.

5423 - Dosage de potassium

a -Méthode

La méthode employée pour le dosage est la spectrophotométrie de flamme (ou spectre d'émission).

b -Principe

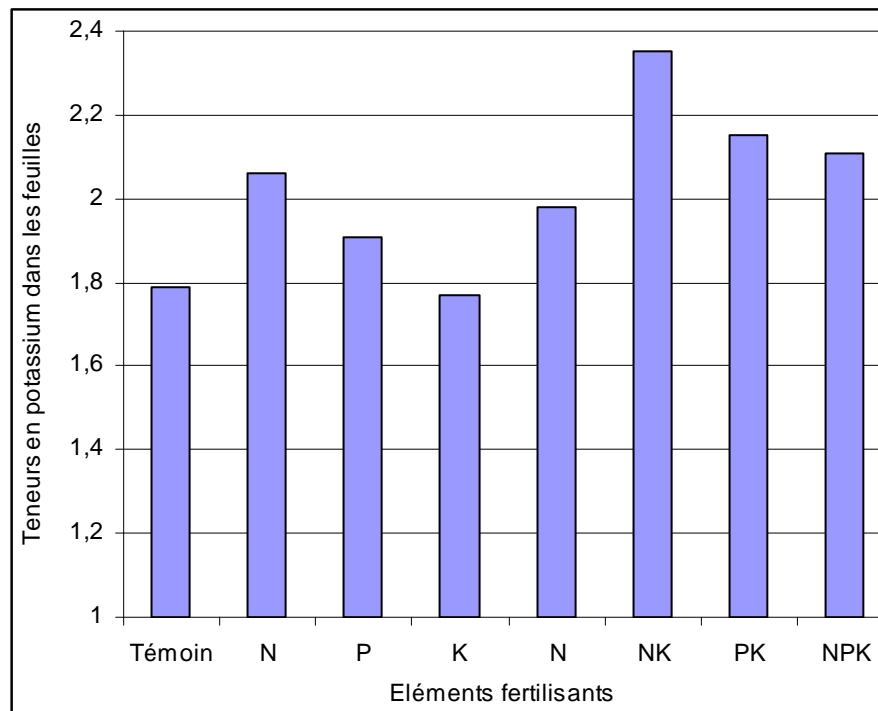
Les émissions spectrales du potassium résultant de l'introduction de la solution des cendres dans une flamme sont comparées à celles obtenues à partir de solutions synthétiques d'étalonnage. La longueur d'onde utilisée pour ce dosage est 770 μm .

c - Teneurs en potassium dans les feuilles à 50 jours après le repiquage

Les teneurs en potassium (% de matière sèche) dans les feuilles à 50 jours après le repiquage sont données dans le tableau 33, annexe 5.

c₁ – Résultats

Figure 30 : Teneurs moyennes en potassium dans les feuilles à 50 jours après le repiquage (en % matière sèche)



c₂ - Interprétation

Les résultats de l'analyse statistique révèlent des différences significatives entre les traitements, malgré un coefficient de variation un peu élevé (14.5%). Les effets des combinaisons NK, PK et NPK sont bien marqués pour l'absorption de potassium par les feuilles à ce stade. On n'observe pas d'interaction pour l'absorption de cet élément. Les résultats de l'analyse des feuilles au tallage montrent que les teneurs en potassium des feuilles analysées dépassent 1%, ce qui prouve que les plants ne sont pas déficients en élément nutritif K, à ce stade (voir annexe 9).

c₃ - Conclusion

L'une des trois combinaisons NP, NK, et NPK est à conseiller en riziculture de la région afin d'améliorer l'absorption de potassium par les feuilles.

d - Teneurs du potassium dans les feuilles paniculaires

Nous n'avons pas pu déterminer ces teneurs à cause de l'insuffisance de l'échantillon de feuilles paniculaires parvenues au laboratoire.

543 - Alimentation du riz

Les résultats analytiques obtenus sont utilisés pour exprimer l'alimentation du riz.

5431 - Alimentation globale de la feuille

L'alimentation globale du riz représente la somme $S = N + P + K$ des teneurs centésimales des trois éléments nutritifs N, P, K dans la matière sèche de la feuille du riz échantillonnée, au moment considéré. Cette somme caractérise l'intensité de l'alimentation de la feuille de telle sorte que N, P et K représentent les pourcentages d'azote, de phosphore et de potassium dans la matière sèche de la feuille échantillonnée. La valeur de S indique combien, au moment de l'échantillonnage, la feuille contient d'unités nutritives N P K dans 100 parties de sa matière sèche. Le nombre S permet aussi d'apprécier la quantité de la nutrition N, P, K.

5432 - Qualité de l'alimentation de la feuille (ou sa nature)

Les rapports physiologiques ou rapports mutuels des trois principes N, P, K que l'on peut écrire : N/P ; K/P ; K/N , représentent la qualité de l'alimentation de la feuille (ou sa nature).

5433- Unité nutritive N, P, K

La somme des proportions, dans lesquelles N, P, K contribuent respectivement à l'obtention d'une quantité unité de ces trois éléments ($N/S + P/S + K/S$), est appelée "unité nutritive N, P, K" (BRUNEL A. 1948). Elle représente la composition de la feuille en fonction des proportions dans lesquelles N, P et K sont présents dans une quantité unité de la feuille considérée, au moment du prélèvement et exprime les rapports physiologiques entre l'azote, le phosphore et le potassium dans le laboratoire de synthèse constitué par la feuille, car si l'on connaît les valeurs de N/S , P/S , K/S , on sait également comment, dans la feuille échantillonnée, est composée d'unité nutritive NPK.

5434 - Equilibre nutritif N, P, K

L'équation ($100 = N/S \times 100 + P/S \times 100 + K/S \times 100$) représente l'équilibre alimentaire NPK de la feuille (BRUNEL A. 1948), équilibre selon lequel se font les synthèses dans la feuille au moment de l'échantillonnage. Il se calcule selon la méthode en annexe 7. Les résultats figurent dans le tableau ci-dessous.

Figure 31 : Teneurs de chaque élément dans les feuilles et l'alimentation globale

Classement	N% feuille	P% feuille	K% feuille	S	N %	P %	K %	Rendements en paddy t/ha
1-NPK	1,76	0,223	2,11	4,093	43	5,45	51,55	7,34
2-NP	3,06	0,24	1,98	5,28	57,95	4,55	37,5	6,64
3-NK	2,13	0,178	2,35	4,658	45,73	3,82	50,45	6,11
4-N	2,31	0,165	2,06	4,535	50,94	3,64	45,42	5,56
5-PK	1,64	0,253	2,15	4,043	40,56	6,26	53,18	4,72
6-P	2,06	0,218	1,91	4,188	49,19	5,26	45,61	4,05
7-K	2,31	0,26	1,77	4,34	53,23	5,99	40,73	3,62
8-Témoin	1,95	0,208	1,79	3,948	49,39	5,27	45,34	3,15

5435 - Equilibre nutritif optimum

Le meilleur rendement en paddy est obtenu pour les pourcentages de chaque élément N, P, K ci-dessous (en % de la matière sèche) :

Azote (N) : 43 %

Phosphore (P) : 51.55 %

Potassium (K) : 5.45 %

Dans le cas de notre étude, ces niveaux correspondent à l'équilibre nutritif optimum NPK dans les feuilles et au traitement relatif à l'apport de la fumure minérale complète NPK dont le rendement en grain obtenu est de 7.34t par hectare. Dans cette étude, l'équilibre nutritif optimum dans la feuille, est :

43 % d'azote

5,45 % de phosphore

51,55 % de potassium

Ce mode de nutrition conduisant au rendement maximum constitue l'optimum d'alimentation de la plante considérée, au moment de prélèvement des échantillons. Pour notre essai, le témoin, donnant un rendement en grains de 3.17 t/ha, est éloigné de cet optimum nutritif puisqu'il indique l'équilibre suivant :

49.33 % d 'azote

5.27 % de phosphore

.4 % de potassium

5436 – Relation entre le diagnostic foliaire et le rendement en grain de paddy**a - Résultats**

L'examen des équilibres y nutritifs NPK des différentes parcelles, de l'intensité moyenne de la nutrition et du rendement en paddy de la variété 2798 cultivée sur des parcelles fumées de façons différentes, permet :

- de voir une relation entre l'équilibre nutritif NPK, l'intensité moyenne de la nutrition et le rendement de la variété 2798 cultivée sur des parcelles fumées de façons différentes

- de distinguer trois groupes de traitements, présentés dans le tableau 9

- d'apprécier les effets des éléments fertilisants apportés dans la nutrition de la plante

Tableau 10 : Relation entre l'équilibre nutritif NPK, l'intensité moyenne de la nutrition et le rendement de la variété 2798 cultivée sur des parcelles fumées de façons différentes.

Traitement	Alimentation globale (S) de la feuille (%)	Grains (t/ha)	Pourcentage de N, P K par rapport à (S)			Groupes de traitements
			N%	P%	K%	
Témoin	3,943	3,15	49,33	5,27	45,4	I
K	4,343	3,62	53,26	5,99	40,75	
P	4,188	4,05	49,19	5,2	45,61	
PK	4,046	4,72	40,61	6,25	53,14	
N	4,535	5,56	50,94	3,64	45,42	II
NK	4,658	6,11	45,73	3,82	50,45	
NP	5,28	6,64	57,95	4,55	37,5	
NPK	4,091	7,34	42,97	5,45	51,58	III

b - Interprétation des équilibres NPK en relation avec les rendements en grains

Le groupe I comprend les traitements sans azote suivants : témoin, K, P et PK. Les plantes qui les ont reçu sont pauvrement nourries et ont donné les plus bas rendements en grain. Cette réponse à l'apport de ces engrais sans azote en rizière montre la réaction défavorable de la plante en l'absence d'azote. Dans ce groupe, l'intensité de l'alimentation globale est faible pour les deux traitements témoin et PK. Elle se trouve élevée pour les fumures avec potassium seul ou contenant uniquement du phosphore.

Le groupe II comprend les traitements N, NP et NK. Les plantes ayant reçu ces engrais sont mieux nourries que dans le cas précédent, ce qui se traduit par des rendements plus élevés.

La position de l'équilibre s'éloigne de la partie où l'on a 100% de phosphore, traduisant l'effet d'une insuffisance de phosphate. Les plantes de ce groupe ont une intensité de la nutrition globale élevée.

Le groupe III comprend la fumure complète NPK qui a donné le plus haut rendement en grain. Ce groupe traduit la meilleure nutrition de la plante.

Il est caractérisé par un faible pourcentage en azote que ceux des deux groupes I et II et des teneurs élevées en phosphore et en potassium que celles du groupe II.

L'intensité d'alimentation globale de ce groupe apparaît faible.

En conclusion, on peut dire que les traitements interviennent pour produire une variation simultanée de l'alimentation globale de la feuille et de l'équilibre nutritif N P K (augmentation de l'alimentation globale et modification de l'équilibre N P K).

c - Appréciation de l'effet d'une fumure

La comparaison des diagnostics foliaires des traitements montre que l'engrais a modifié simultanément l'alimentation globale et l'équilibre alimentaire de la feuille :

- fumure sans azote réduit l'intensité de l'alimentation globale, mais la combinaison de l'azote avec K ou P tend à l'augmenter ;
- l'utilisation des engrais à un seul élément fertilisant éloigne l'équilibre NPK de la feuille de la valeur optimum obtenue dans cet essai.

d - Conclusion

Les traitements correspondant à l'absence du facteur azote donnent les plus faibles rendements et ceux contenant cet élément ont un effet bien marqué sur le rendement en grain. La fumure NPK procure le meilleur rendement, donc elle a un effet améliorant sur le rendement en paddy et a une puissance nutritive plus élevée que les autres. La meilleure alimentation, à prendre provisoirement comme référence à la suite de cette expérience, est donc celle donnée par la fumure complète NPK qui a conduit au rendement maximum. La fumure minérale complète NPK convient à la plante de riz cultivée dans le milieu de la région sud-ouest.

5437 - Corrélations entre les teneurs N,P, K dans les feuilles et les rendements en paddy puis les corrélations entre deux éléments dans les feuilles

Dans l'étude de ces corrélations, le degré de liberté considéré est de 48 (50 – 2) pour mieux faire l'analyse statistique des résultats par la méthode factorielle (50 = nombre total des feuilles prélevées et analysées par parcelle).

a - Résultats

Les résultats des analyses des corrélations entre les teneurs N, P, K dans les feuilles et les rendements en paddy puis les corrélations entre deux éléments nutritifs dans les feuilles figurent dans le tableau 14.

Tableau 11 : Corrélation entre les teneurs N, P, K dans les feuilles - Rendements en paddy et les corrélations entre deux éléments dans les feuilles

Corrélation	Coefficient de corrélation calculé	Coefficient de corrélation théorique		Observations (significations)
		5%	1%	
1-Teneurs en N des feuilles à 50 jours après repiquage – Rendement en paddy	+ 0.219	0,279	0,361	NS
2-Teneurs en P des feuilles à 50 jours après repiquage – Rendement en paddy	+ 0.213			NS
3-Teneurs en K des feuilles à 50 jours après repiquage – Rendement en paddy	+ 0.673			HS
4-Teneurs en N des feuilles paniculaires – Rendement en paddy	+ 0.541			HS
5-Teneurs en P des feuilles paniculaires – Rendement en paddy	+ 0.742			HS
6-Teneurs en N des feuilles à 50 jours après repiquage – Teneurs en P des feuilles à 50 jours après repiquage	+ 0.014			NS
7-Teneurs en N des feuilles à 50 jours après repiquage – Teneurs en K des feuilles à 50 jours après repiquage	+ 0.204			NS
8-Teneurs en P des feuilles à 50 jours après repiquage – Teneurs en K des feuilles à 50 jours après repiquage	+ 0.009			NS
9-Teneurs en N des feuilles paniculaires – Teneurs en P des feuilles paniculaires	+ 0.82			HS

NS : Non significatif ; S : Significatif à 5% ; HS : Hautement Significatif à 1%

b -Interprétation

Sur le sol où l'on a conduit l'expérimentation, on n'observe pas de corrélation négative, alors il n'y a pas antagonisme entre les absorptions des trois éléments nutritifs N, P et K. On retrouve les corrélations positives hautement significatives entre :

- teneurs en potassium dans les feuilles à 50 jours après repiquage et rendement en paddy ;
- teneurs en azote dans les feuilles paniculaires et rendement en paddy;
- teneurs en phosphore dans les feuilles paniculaires et rendement en paddy;
- teneurs en azotes dans les feuilles paniculaires et teneurs en phosphore dans les feuilles paniculaires.

c - Conclusion

La seule corrélation positive observée entre les éléments, est celle relative aux teneurs en azote et les teneurs en phosphore.

Les niveaux des feuilles en N et en P augmentent l'alimentation en phosphore et favorisent l'alimentation azotée et par conséquent les rendements.

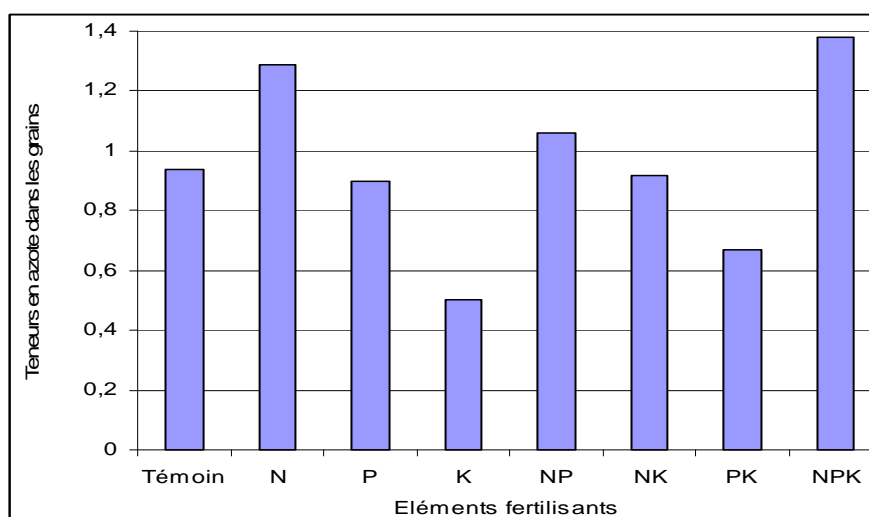
544 - Analyse des grains de paddy

La formation et la croissance des organes recherchés (grains de paddy) sont fonctions des variations du mode d'alimentation de la plante, qui est lui-même sous la dépendance des facteurs physiques et chimiques du milieu. L'étude des grains et celle du mode d'alimentation de la plante sont intimement liées et doivent être menées de pair. Les grains de paddy séchés à l'étuve à 70°C ont été broyés, ensuite analysés en utilisant les techniques décrites pour l'analyse des feuilles.

5441 - Teneur en azote des grains à la récolte

La méthode de dosage de l'azote total est celle qui repose sur le procédé de Kjeldhal dont le principe a été déjà donné lors de la détermination des teneurs en azote total des feuilles. Le tableau 36, annexe 5, donne les teneurs en azote total dans les grains (moyenne par traitement pour les 4 répétitions). Les teneurs moyennes en azote dans les grains de riz figurent dans le graphique ci-dessous.

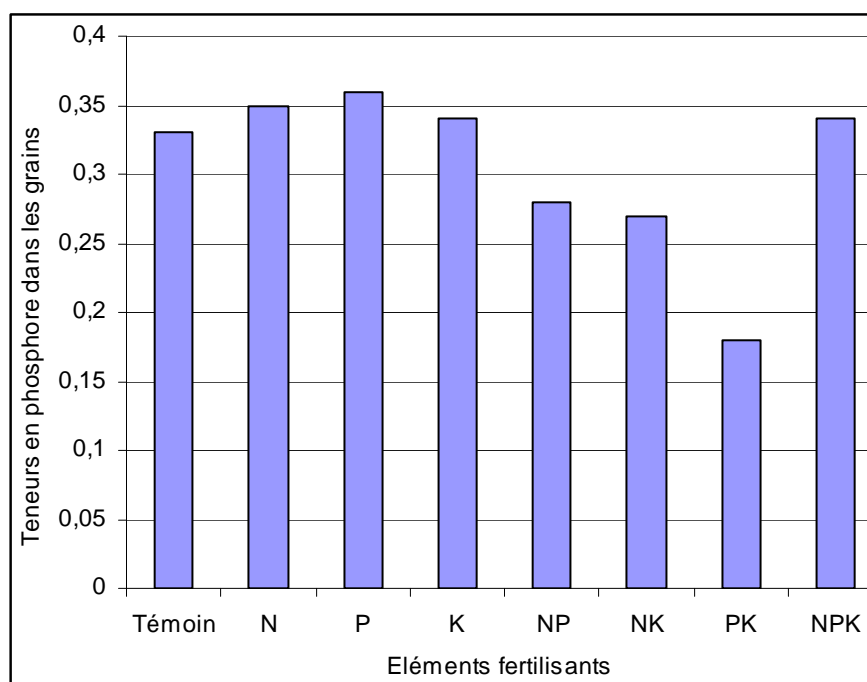
a- Résultat

Figure 32 : Teneur en azote total dans les grains de paddy (en % de matière sèche)**b– Interprétation**

Les fumures azotées et phosphatées ainsi que leur combinaison ont des effets sur l'absorption de l'azote au niveau des grains. Les teneurs en N des grains semblent fonction des apports en N et P dans le milieu de culture.

5442 - Teneur en phosphore des grains à la récolte**a – Résultats**

La méthode, le principe et les techniques utilisées pour l'analyse du phosphore dans les grains et dans les feuilles sont identiques. Les résultats par parcelle et par répétition sont mentionnés dans le tableau 37, annexe 5.

Figure 33 : Teneurs moyennes en phosphore total dans les grains de paddy

b - Interprétation

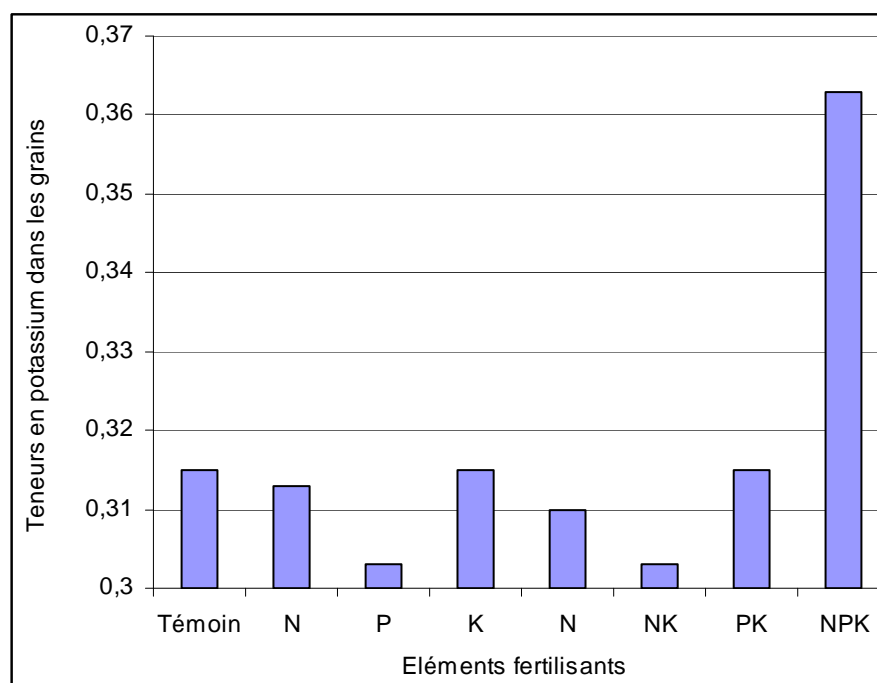
Il n'y a pas de différences significatives entre les traitements. Le coefficient de variation est de 9.4%. Il ne semble pas y avoir eu d'influence du mélange ou non des engrais sur l'absorption de phosphore dans les grains.

5443 - Teneur en potassium des grains

Les données du tableau 38, annexe 5, représentent les teneurs en K des grains.

a - Résultats

Figure 34 : Teneurs moyennes du potassium total dans les grains à la récolte



b – Interprétation

Il y a des différences significatives entre les traitements. L'effet principal du traitement avec K et les réponses de l'ensemble N x P, N x K et P x K sont significatifs sur l'absorption de potassium par les grains. Mais la teneur en potassium des grains dépend en grande partie de l'apport de l'azote.

545 – Les exportations minérales par les récoltes

5451-Importance des prélèvements en éléments nutritifs par la plante

Les quantités d'éléments fertilisants prélevées par la culture et exportées par la récolte semblent importantes. Les chercheurs et les agriculteurs comprennent la grande

nécessité de la connaissance des exportations minérales par les récoltés. Ils savent aussi que pour atteindre un rendement donné, il faut assurer la présence dans le sol, sous forme assimilables (réserves + fertilisation), d'une quantité d'élément égale aux prélèvements de la plante au niveau de fertilité, envisagé. Le maintien de cette fertilité exigera la compensation des exportations. La considération de la fertilisation d'entretien mais aussi de la restitution des résidus de récolte et de l'établissement de l'équilibre nutritif optimum des cultures dépendent de la connaissance des exportations.

Cette connaissance de l'exportation permet de fixer une fumure à un niveau suffisant pour éviter la chute de stock des éléments fertilisants dans le sol et la baisse du capital de fertilité du sol. La différence entre la quantité d'éléments apportés et les exportations totales (exportation par la récolte et drainage) rend compte de l'enrichissement ou de l'appauvrissement du sol en élément fertilisant, en se fixant comme objectif l'obtention d'un rendement R d'un plant de riz. Les exportations varient en fonction de la variété, des conditions de culture, des disponibilités en eau et du précédent cultural.

5452 – Coefficient d'Utilisation Apparente (CUA %)

Pour préciser les meilleures conditions de l'efficacité de la fumure appliquée, on utilise le Coefficient d'Utilisation Apparente [CAU], (BRUNEL, 1948) de l'engrais dont l'appréciation nécessite l'analyse minérale des grains et des pailles.

a- Expression

Ce coefficient peut s'écrire :

$$CUA (\%) = \frac{\text{Exportation par les récoltes (grains + paille)}}{\text{Apport par la fumure (azote, phosphore ou potasium)}} \times 100$$

b - Signification de ce coefficient :

Le "CUA" varie et dépend des interactions de facteurs chimiques et de l'action du climat et des méthodes de culture. Un «CUA» de 100 % signifie que l'ensemble «réserve du sol + engrais» a cédé à la plante une quantité d'élément (azote, phosphore, potassium) égale à celle apportée par la fumure. Dans ce cas, il n'y a ni capitalisation de l'élément fertilisant de l'engrais dans le sol, ni épuisement des réserves de ce dernier.

c - Résultats

On ne peut pas réaliser la détermination au laboratoire des quantités ou teneurs en éléments nutritifs apportées par l'engrais à la plante et celles provenant du sol.

La principale cause est l'absence des éléments marqués (N P K) à introduire dans les engrais employés.

Ces éléments permettent de différencier les actions de l'engrais apporté à la plante et celles provenant des réserves du sol. En conséquence, il est impossible de calculer le CUA des fumures utilisées dans cet essai et d'obtenir des résultats concernant ce CUA.

d - Conclusion

Malgré l'absence des résultats sur le CUA, on constate qu'il y a, bien entendu, de grandes variations dans les quantités exportées, mais, en première approximation, on peut compter qu'une récolte de 5 t/ha de paddy prélève :

90 – 100 kg de N

40 – 50 kg de P_2O_5

140 – 200 kg de K_2O

Comme la plus grande partie du potassium est contenue dans la paille, une attention particulière devrait se porter sur la fertilisation potassique dans la région Sud Ouest où les pailles sont exportées aussi (brûlées ou données au bétail ou pour autre utilisation). Aucune restitution de ces matières n'a été faite dans les rizières actuellement.

546 - Conclusion

L'examen des teneurs en azote, en phosphore et en potassium du riz au niveau des feuilles et des grains, permet d'émettre les conclusions suivantes :

5461 - Au moment du tallage :

L'absorption de l'azote est favorisée par l'apport de K dans les rizières et de sa combinaison avec P. Les teneurs en phosphore et en potassium des feuilles dépendent de la présence de N dans les rizières.

5462 - Au début de floraison :

Les fertilisations azotées, phosphatée, potassique et de leur interaction ont des actions positives sur les absorptions des éléments nutritifs.

5463 - Au moment de la récolte :

Les effets d'interaction sont bien marqués dans les absorptions des éléments nutritifs par les grains.

55 - Analyse de sol

On fait l'analyse du sol en tant que moyen de contrôler les éléments nutritifs du sol et comme base pour l'établissement du programme de fertilisation. Suivre les recommandations obtenues grâce à une bonne analyse de sol, donne à l'agriculteur des bénéfices bien plus grands que lors qu'on n'utilise pas d'analyse de sol.

551 - Analyse de sol avant la mise en place de la culture

La détermination analytique au laboratoire d'un échantillon du sol sur lequel la multiplication va être installée, aide à avoir une idée générale de la fertilité du sol de la culture de semences du riz irrigué.

5511 - Résultats des analyses de sols

a – Analyse physique

Une sédimentation simple du sol dans l'eau permet de séparer en deux les constituants du sol :

- le surnageant formé par une solution colloïdale de matière organique avec les particules minérales en suspension ;

- le culot composé de gros éléments minéraux qui constituent le squelette du sol.

Ces éléments se décantent et tombent au fond du récipient en verre ou cylindre selon leur densité.

b – Analyse granulométrique et chimique

Les résultats sont donnés dans le tableau 12 ci-dessous

5512- Interprétation des résultats

L'interprétation des résultats analytiques du sol nécessite la synthèse:

- du type de sol (observation profil, analyses physique et chimique) ;

- de la culture envisagée ;

- des données topographiques et géomorphologiques locales ;

- des méthodes employées pour les dosages ;

- des observations effectuées au champ sur le comportement de la culture du

riz déterminée (vitesse de croissance, production en quantité et en qualité) et comparer avec les résultats des analyses de sol.

L'interprétation des résultats d'analyse fait intervenir des valeurs bien définies qui sont des normes d'interprétation des résultats obtenus (voir annexe 6). Ces valeurs sont établies à la suite de nombreuses expériences des chercheurs en pédologie. Ces données permettent de faire la comparaison des résultats obtenus par analyse et d'en tirer des conclusions fiables.

a - Les constituants solides des sols

A la fin de l'analyse, on distingue deux catégories de constituants dans le sol :

- les constituants organiques : humus, avec l'argile, forme le complexe argilo-humique (ou absorbant) qui est la partie active du sol car c'est sur elle que repose de nombreux caractères du sol ;

- les constituants minéraux : sable, limon et argile, éléments formant le squelette du sol.

Tableau 12 : Résultats des analyses physiques et chimiques du sol

		Bloc C		Bloc F	
PROFONDEUR (cm)		0 - 20	20 -50	0 - 20	20 - 50
pH eau		5,40	5,89	5,50	6,62
pH _{KCl}		5,13	5,60	4,54	6,30
GRANULOMETRIE	Sable %	64	74	84	64
	Limon %	14	10	6	14
	Argile %	22	16	10	22
ELEMENTS ORGANIQUES	Carbone total %	0,64	0,19	1,5	0,38
	Matière organique %	1,103	0,327	2,586	0,655
	Azote total %	0,112	0,028	0,049	0,119
	Rapport C/N	5,71	6,78	30,61	3,19
CONDUCTIVITE ELECTRIQUE (µmho/cm)		250	225	50	225
PHOSPHORE ASSIMILABLE (ppm)		5,90	6,3	7,400	9,90
BASES ECHANGEABLES méq/100g	Ca ²⁺	6,90	3,20	1,300	9,25
	Mg ²⁺	2,25	0,908	0,525	2,33
	K ⁺	0,243	0,113	0,128	0,10
	Na ⁺	0,274	0,230	0,061	0,27
	Somme de bases (S)	9,393	4,221	2,003	11,680
	Capacité d'échange (CEC)	9,9	4,0	5,1	10,2
	Saturation du complexe ou taux de saturation (V)	94,88	105,52	39,27	114,51
RAPPORT	Mg/Ca	0,36	0,284	0,404	9,320
	Na/Ca	0,040	0,072	0,047	1,08
	Mg/K	9,259	0,035	4,101	23,30
	Ca + Mg/ K	37,654	36,354	14,258	115,80
	Na/CEC	0,028	0,057	0,012	0,026
	Na/CEC en %	2,8%	5,7%	1,2%	2,6%

b - Caractéristiques physiques des sols

Tableau 13 : Réserve en éléments minéraux du sol (tableau 12)

Sol	Sol du bloc C		Sol du bloc F	
Profondeur	0 - 20 cm	20 - 50 cm	0 - 20 cm	20 - 50 cm
Limon/Argile en %	62.50	63.63	60	63.63
Réserve en éléments minéraux du sol	Réserve peu importante	Réserve importante	Réserve moyenne	Réserve importante

Le rapport est compris entre 60 % et 70 % pour tous les horizons du profil, on peut conclure que la réserve en éléments minéraux n'est pas faible en général.

b₁ Texture et structure

Les analyses du sol, effectuées en totalité sur la terre fine dont les éléments ont moins de 2mm de diamètre, donnent les proportions relatives des constituants minéraux du tableau 13 ci-dessous.

Tableau 14 : Texture des sols étudiés

Éléments minéraux	Proportion des éléments minéraux (%)			
	Sol du bloc C		Sol du bloc F	
	0 - 20 cm	20 - 50 cm	0 - 20 cm	20 - 50 cm
Argile	22	16	16	22
Limon	14	10	6	14
Sable	64	74	84	64
Texture	Limono argilo- sableux	Limon très sableux	Sable limoneux	Limono argilo-sableux

L'analyse et l'interprétation du diagramme de texture montrent que les deux horizons 0-20 cm du sol de bloc C et 20-50 cm du sol de bloc F ont même texture, du type limon argilo-sableux.. L'horizon supérieur du sol de bloc F correspond au sable limoneux et l'horizon moyen du bloc C apparaît comme un limon très sableux.

Tableau 15 : Structure des sols étudiés (blocs C et F)

S T R U C T U R E D U S O L			
Sol du bloc C		Sol du bloc F	
0 - 20 cm	20 - 50 cm	0 - 20 cm	20 - 50 cm
Structure prismatique	Structure anguleuse	Structure prismatique	Structure fragmentaire de forme angulaire

Les résultats obtenus révèlent une structure identique pour les deux sols.

b₂ - Conclusion

Le sol du bloc C qui a un horizon supérieur moins sableux que celui du bloc F, renferme un horizon moyen ayant une teneur de sable plus élevée par rapport au bloc F.

c- Interprétation des analyses chimiques de sols

Dans cette interprétation, il convient de distinguer deux notions :

- la richesse d'un sol en tel ou tel élément, valeur définie par l'analyse chimique ;
- la fertilité qui est l'aptitude du sol à telle ou telle production, valeur beaucoup plus complexe à définir.

c₁- Interprétation de richesse en éléments du sol

...pH

Les horizons 0 à 20 cm des alluvions de sols du bloc F et du bloc C ont un pH fortement acide (pH compris entre 5.1 et 5.5).

Le limon de l'horizon inférieur du bloc C a un pH 5,89 moyennement acide et l'horizon profond du bloc F a un pH voisin de la neutralité.

...Ca⁺⁺

Le sol du bloc C renferme une teneur moyenne à riche de Ca⁺⁺. Le calcium du bloc F est pauvre pour la couche supérieure et devient très riche en profondeur.

...Mg⁺⁺

La couche supérieure du bloc C et l'horizon inférieur du sol F sont riches en cet élément. Les deux autres couches de ces sols sont pauvres en magnésium. Le sol du bloc C est plus riche en cet élément que celui du bloc F.

...K⁺

En général, les deux sols sont pauvres à moyen en potassium.

...P assimilable

Les teneurs du phosphore assimilable sont de l'ordre de 5 à 6,5 ppm pour les alluvions du bloc C, elles passent de 7,4 à 9,90 ppm pour les horizons de sol du bloc F. Les teneurs en phosphore du sol alluvionnaire du bloc C sont faibles par rapport à celles de du sol F où elles sont moyennes. Les résultats montrent que les teneurs de phosphore augmentent avec la profondeur pour les deux types de sol ; 5,90 ppm en C et 7,74 ppm en F dans les deux horizons de surface; 6,3 ppm et 9,90 ppm dans les deux couches profondes de C et F.

...Somme des bases échangeables

La somme des bases a une valeur faible à moyenne dans le cas du sol de bloc C (moyenne en surface et faible en profondeur), elle est faible dans l'horizon superficiel du sol en F et devient forte en profondeur du même sol.

...Capacité d'échange cationiques (CEC)

Elle est faible à moyenne pour le sol du bloc F, elle reste faible au sol du bloc C. La capacité d'échange relative à l'horizon supérieure du sol en C est presque deux fois plus que celle de l'horizon inférieur. La couche supérieure du bloc F a une capacité inférieure à celle de la couche en profondeur.

...Taux de saturation (V)

Le complexe absorbant est en général fortement saturé, excepte celui de l'horizon supérieur du bloc F qui est faiblement saturé (saturation du complexe $V = 39,27\%$). Les deux couches inférieures des sols ont des valeurs de V supérieures à 100. Cela pourrait être due à un apport d'ions libres du sel dans la solution analysée.

Ces ions libres ne font pas partie des sels du sol. Ils proviennent soit du matériel pas bien propre avant sa réutilisation, soit du manipulateur qui n'a pas fait trop d'attention lors de l'opération.

Tableau 16 : Matières organiques

Horizon	Sol du bloc C			Sol du bloc F		
	C%	MOT%	C/N	C%	MOT%	C/N
Horizon supérieur : 0 - 20 cm	0,64	1,103	5.71	1,50	2,586	30.61
Horizon de profondeur : 20 - 50 cm	0,19	0,37	3.19	0,38	0,655	6.78

M.O.T : Matière Organique Totale

Azote : les alluvions récentes cultivées en riz sont très pauvres en azote total : $< 0,5\%$

Carbone organique (C) : les teneurs en carbone organique et en matière organique sont faibles pour les horizons supérieurs, elles deviennent encore très faibles en profondeur.

Ces très faibles teneurs en matière organique totale et ces trop faibles valeurs du rapport C/N pour les horizons profonds indiquent des sols où la matière organique évolue rapidement. Seule, la valeur du rapport C/N de la partie supérieure de sol du bloc F est trop fort car le milieu est bien pourvu en carbone organique et faiblement pourvu en azote. Dans ce cas, il y a une faible minéralisation de la matière organique, donc on assiste à une accumulation de la matière organique.

Salinité et alcalinité des sols

Les valeurs du rapport Na/CEC exprimées en % sont comprises entre 1 et 6 %, ce qui prouve que ces alluvions étudiées sont non salées. Ces résultats concordent avec l'acidité trouvée des sols (pH entre 5,40 et 6,62) et montrent que les sols ne sont pas alcalins.

Tableau 17 :Relation azote – phosphore

Azote total (en %)	Phosphore ppm (assimilable)
0,049	7,4
0,112	5,9
0,119	9,9
0,028	6,3

Les résultats obtenus montrent qu'il existe une relation entre l'azote total et le phosphore assimilable, plus le sol est riche en N, plus il a besoin de phosphate, autrement dit une élévation de N nécessite une augmentation de phosphore.

Mais il faut tenir compte de la fixation du phosphore sous forme organique. Le sol devrait présenter un bon équilibre N/P et avoir une aptitude à la culture, compte tenu du pH trouvé lors de l'analyse de sols.

Conclusion

De tous ces résultats d'analyse des deux types de sol, on peut conclure que le sol du bloc C contient mieux d'éléments nutritifs pour la plante du riz que celui du bloc F. Le sol du bloc C apparaît plus favorable à la culture du riz que le terrain du bloc F.

552 – Analyse du sol après la récolte

5521 – Résultats

(voir tableau 18)

5522 – Interprétation des résultats

En une culture, les engrais apportés n'influent pas l'état physique du sol, Les teneurs du sol en base Ca, Mg, K et Na augmentent par rapport à l'état initial du sol, quels que soient les éléments fertilisants apportés au sol de la rizière. Le carbone total est élevé aux deux horizons dans les différentes parcelles après la culture. L'azote de l'horizons 0 – 20 cm n'a pas trop changé et est équivalent pour tous les traitements. La quantité d'azote dans la couche de 20 – 40 cm du sol de la rizière se trouve améliorée pour tous les traitements.

Le pH de la 1^{ère} couche 0 à 20 cm, pour tout traitement, varie de 5.22 à 5.69, il est de 6.05 à 7.32 dans la couche 20 à 40 cm. Il y a tendance vers la neutralité des sols de des deux couches.

Avant la mise en place de la culture, le niveau du phosphore dans le sol est de 5.90 ppm à l'horizon 0-20 cm et 6.3 ppm de 20 à 40 cm de profonde. Cette quantité varie suivant le traitement apporté après récolte. Entre 0 et 20 cm, les quantités de phosphore sont faibles que celle avant la mise en place de la culture pour les parcelles où l'on apporte de N seul et de K uniquement. Pour les autres traitements, les teneurs de sol en cet élément sont supérieures à celles trouvées avant la culture, donc l'application de ces fertilisants favorise l'augmentation de la quantité de phosphore assimilable dans le sol. Les réserves du sol en phosphore est assurées pour la culture suivante sur ce sol. Dans la couche inférieure (20 – 40 cm), les teneurs du sol en phosphore est presque le double de celle de départ, les réserves sont améliorées dans cette couche. L'action combinée de N et K permet d'avoir les meilleures teneurs en phosphore dans les deux couches du sol cultivé.

Les conductivités électriques, correspondant aux différents traitements de la couche supérieure, 0 à 20 cm, sont inférieures à celle enregistrée avant la mise en culture. Dans la deuxième couche, NK et PK sont les traitements qui donnent des conductivités supérieures à celle du sol au départ. L'apport des autres fertilisants n'a pas fait varier la conductivité électrique.

Tableau 18 : Résultats de l'analyse du sol après récolte

Traitement.	horizon (cm)	C%	N%	C/N	P ppm	pH eau	Ca/ méq 100	Mg/ méq 100	K/ méq 100	Na/ méq 100	Conductivité électrique $\mu\text{mho/cm}$
T	0-20	1.21	0.112	10.8	7.7	5.3	9.5	3.83	0.308	0.339	183
	20-40	0.41	0.091	4.51	11.3	6.05	8.45	2.50	0.333	0.265	160
N	0-20	1.23	0.126	9.76	4.4	5.26	6.30	2.67	0.282	0.309	235
	20-40	0.66	0.098	6.74	13.7	6.2	8.8	2.67	0.333	0.317	165
P	0-20	1.14	0.133	8.57	8.6	5.29	7.35	2.67	0.359	0.317	174
	20-40	0.72	0.084	8.57	11.7	6.15	7.05	2.42	0.385	0.274	96
K	0-20	1.26	0.154	8.18	2.4	5.24	7.30	2.5	0.308	0.274	153
	20-40	0.70	0.098	7.14	10.3	6.18	6.75	2.17	0.385	0.269	122
N	0-20	1.17	0.105	11.14	12.1	5.55	7.6	2.75	0.359	0.269	185
P	20-40	0.81	0.098	8.27	13.0	6.50	9.05	2.67	0.410	0.326	120

N	0-20	1.05	0.119	8.82	1.3	5.22	7.95	2.83	0.436	0.317	174
K	20-40	0.78	0.105	7.43	15.4	6.9	10.15	2.58	0.436	0.313	245
P	0-20	1.26	0.112	11.25	7.2	5.69	8.35	2.92	0.487	0.291	201
K	20-40	0.89	0.105	8.48	13.0	7.32	14.05	2.75	0.538	0.313	243
N	0-20	1.28	0.140	9.14	10.2	5.30	7.55	2.25	0.385	0.404	244
P	20-40	0.89	0.098	6.38	11.2	6.38	10.45	3.08	0.41	0.343	185
K											

T = témoin

Conclusion

La culture en une saison, menée sur sol ayant les caractéristiques déterminées dans cette expérience, avec apport suffisant d'éléments fertilisants (90 kg de N/ha, 60 kg de P/ha et 60 kg de K par ha) n'a pas réduit la fertilité du sol de façon significative.

56 - Analyse économique

L'analyse économique des résultats obtenus dans cet essai vise à formuler des recommandations aux riziculteurs à partir des données agronomiques. Ces recommandations sont elles mêmes des informations recueillies lors de la recherche que le riziculteur peut mettre à profit pour améliorer la productivité des ses ressources actuelles.

561 - Elaboration du budget partiel

Le budget partiel est une méthode utilisée pour organiser les données expérimentales de manière à calculer et à faire apparaître les coûts qui varient d'un traitement à l'autre et les bénéfices nets dérivant des différents traitements proposés. Il inclut : les rendements moyens obtenus pour chaque traitement, les rendements ajustés, le bénéfice brut au champ sur la base du prix au champ de la culture du riz, tous les coûts qui diffèrent d'un traitement à l'autre, les bénéfices nets. L'établissement du budget partiel complet et le calcul des bénéfices impliquent une série d'opérations pour chaque traitement (voir annexe 7)

Tableau 19 : Budget partiel de cet essai

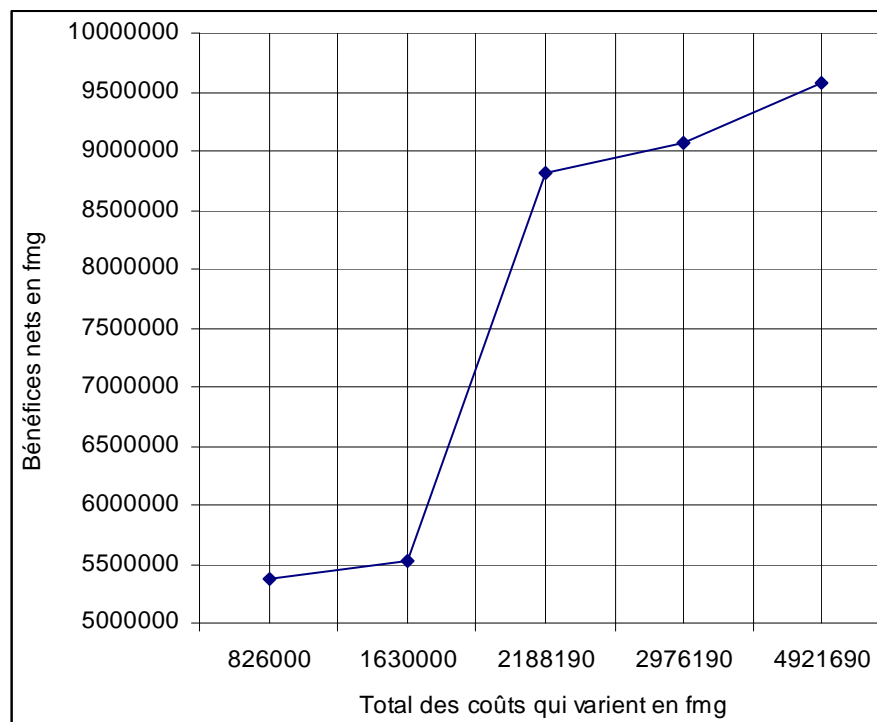
Traitement	Moyenne de rendement en kg/ha	Rendements ajustés à 25% en kg/ha	Total des coûts qui varient (fmg/ha)	Bénéfice brut au champ (fmg)	Bénéfices nets (fmg)
Témoin	3150	2360	826000	6206800	5380 800
N	5570	4180	2 188 190	10993400	8 805 210
P	4050	3040	2 714 000	7995200	4 281 200
K	3620	2720	1 630 000	7153600	5 523 600
NP	6640	4980	4 088 190	13097400	9 009 210
NK	6110	4580	2 976 190	12045400	9 069 210
PK	4720	3540	3 537 000	9310200	5 773 200
NPK	7340	5510	4 921 690	14491300	9 569 610

562 - L'analyse marginale

L'analyse marginale est une méthode graphique de comparaison entre les coûts qui varient et les bénéfices nets. Elle permet de savoir de combien s'élèveront les coûts quand on veut obtenir une certaine augmentation de bénéfices nets. Cette analyse consiste à calculer les taux de rentabilité marginaux afin que l'agriculteur puisse être en mesure de prendre une décision. Le principe est le suivant :

- On procède à une analyse de dominance en mettant les traitements en ordre croissant suivant le total des coûts qui varient (un traitement est dominé lorsqu'il procure un bénéfice net inférieur ou égal à celui d'un autre traitement dont le coût qui varie est moindre). Cet examen initial des coûts et bénéfices de chaque traitement peut servir à éliminer certains traitements dont les bénéfices nets qu'ils procurent sont insuffisants et par la suite, peut permettre de simplifier l'analyse . L'analyse de dominance n'a pas permis de formuler une recommandation ;.
- On fait un graphique dans lequel chaque traitement est représenté par un point suivant les bénéfices nets et le total des coûts qui lui sont associées. La ligne tracée pour unir les divers points correspondant aux traitements non dominés dessine la courbe (en réalité il s'agit d'une série de lignes) des bénéfices nets, utile pour percevoir clairement les changements de coûts et de bénéfices qui se produisent en passant d'un traitement au suivant ;

Figure 35 : Courbe des bénéfices nets de l'essai



- On exprime, par le taux marginal de rentabilité, la relation qui existe entre les coûts qui varient et les bénéfices nets correspondants aux traitements non dominés ;
- On estime le taux minimum de rentabilité acceptable pour les riziculteurs du domaine de recommandation.

Le taux minimum de rentabilité acceptable pour l'agriculteur se situe entre 50 et 100% dont les manières de son évaluation sont donnés en annexe 7.

563 - L'analyse de sensibilité

Procéder à l'analyse de sensibilité consiste simplement à refaire l'analyse marginale mais avec des prix alternatifs. On a fait cette analyse pour être sûr que la recommandation formulée sera valable pour quelques années au moins, quelles que soient les variations probables des prix des facteurs de production et/ou des cultures. Elle permet de savoir si une recommandation restera valable en dépit des changements de prix et d'examiner les suppositions faites au sujet des coûts d'opportunité.

564 - Interprétation et conclusion

Dans cet essai de fertilisation, le traitement NPK donne le meilleur rendement en grains et le bénéfice net le plus élevé, malgré l'apparition des coûts un peu élevé. Actuellement, cet engrais minéral complet semble plus bénéfique que les autres fumures et pourrait être utilisé en riziculture de la région.

IV - CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

1 – CONCLUSIONS

Malgré la perméabilité et l'état sableux des alluvions de la zone du Bas-Mangoky, elles présentent des qualités physiques moyennement satisfaisantes et peuvent être utilisées pour la production des semences de riz, à conditions de bien conduire l'irrigation et d'assurer la fertilisation.

Toutefois, des analyses périodiques du sol doivent être entreprises pour le suivi de la fertilité du sol cultivé. Les courbes de réponse obtenue aboutissent aux conclusions suivantes :

- l'apport de 90 kg d'azote par hectare de rizière et par saison pourrait être conseillé sur les sols alluvionnaires des périmètres rizicoles de la région sud ouest malgache ;
- l'utilisation du phosphate et de la potasse en fertilisation de la culture du riz dans la région, à des doses moyennes de 60 kg/ha de chaque, est nécessaire parce que l'insuffisance en ces éléments pourrait entraîner une chute notable de rendement après quelques années de culture intensive sur la même rizière.

Les éléments fertilisants apportés à la rizière ont des effets sur la croissance et le développement des plants de riz. Les plants ayant reçu les trois éléments N, P et K ont une hauteur plus grande que les autres, sans avoir versé.

En général, la production de talles est la plus active pendant le deuxième mois de végétation du riz. Cette émission de talles se ralentit ensuite. L'influence de l'azote, du phosphore et du potassium dans la formation des talles apparaît quelques jours après repiquage et persiste jusqu'à la récolte. Ensemble, N, P et K donnent le maximum de rendement en paddy.

Dans la production de matière sèche du riz, avant la montaison, l'azote ou sa combinaison avec le phosphore ont un grand rôle.

Les meilleurs rendements en paille sèche sont produits par apport des trois éléments N, P et K. Il existe une corrélation positive hautement significative entre les rendements en paille et les rendements en paddy. Cette fumure complète donne la plus grande réponse sur le rendement en paille + grain (matière sèche totale). Elle a une interaction sur le rapport paille/grain. Mais cette interaction n'assure pas un rapport très faible, c'est-à-dire un rendement en grains élevé et une quantité faible de matière végétale sèche. La fertilisation appliquée en riziculture réduit la paille et augmente les grains, donne un indice de récolte supérieur 50%. Il y a une corrélation positive entre le rendement en grain et les rendements en matière sèche totale. Les fumures en rizière ne modifient pas le rapport des longueur et largeur de grains. L'apport des éléments N, P et K à faible dose en riziculture permet d'avoir un équilibre nutritionnel dans la plante. Les engrais appliqués n'ont pas d'influence sur le poids des 1000 grains. L'azote ou le phosphore a un effet sur la formation des panicules par touffe.

Les éléments fertilisants, pris séparément ou combinés ont des influences sur l'absorption de l'azote par la plante.

Les combinaisons, N K , N P et, NPK favorisent l'absorption de l'azote par la plante au tallage. L'apport de ces trois éléments augmente les teneurs en azote des feuilles paniculaires. Les teneurs en N des grains semblent favoriser par l'apports de N et K dans le milieu de culture. Les engrais azoté et phosphaté apportés améliorent l'absorption de phosphore durant le stade tallage et début de montaison. Tous les éléments apportés par les engrais ont des réponses positives sur l'absorption de phosphore par le feuilles paniculaires. Il ne semble pas y avoir d'influence du mélange ou non des engrais sur l'absorption de phosphore dans les grains. Seule la fertilisation azotée a un effet significatif sur la teneur en potassium de la plante. N agit de façon significative dans l'absorption de

potassium au stade tallage. L'engrais potassique et les combinaisons N x P, N x K et P x K favorisent l'absorption de potassium par les grains. Ensemble, l'engrais complet N, P, K donnent des rendements en paddy très élevés, des grains de bonne qualité et le plus de bénéfice net sur la production des semences riz. Alors cette formule de fertilisation sera à conseiller en riziculture de la région. Mais l'épandage des engrais organiques en rizière est à souhaiter pour mieux maintenir la fertilité du sol de rizière.

2 - RECOMMANDATIONS

Pour rentabiliser l'utilisation des engrais, quelques solutions et recommandations touchant l'agronomie et l'économie ont été préconisées.

21 – Du point de vue agronomique

- amortissement de la fumure, pour remplacer les éléments nutritifs dans le sol qui sont utilisés par la plante;
- mise au point de formules optimums d'emploi (adaptées aux divers milieux) ;
- amélioration des techniques culturales ;
- implantation d'une vulgarisation agricole intense en vue d'élever le niveau technique des paysans.

22 – Du point de vue économique

- stabilisation des prix des semences du riz afin d'assurer au producteur la faculté de se procurer des moyens de production qui lui sont nécessaires ;
- produire des surplus commercialisables pour pouvoir payer les engrais nécessaires ;
- abaisser les prix excessifs du transport par le recours aux hauts dosages et aux engrais composés à forte concentration ;
- recherche d'un abaissement du prix de vente des engrais par l'exploitation des ressources minérales naturelles et par la fabrication des engrais de synthèse envisagée dans le cadre d'accords entre Etats.

BIBLIOGRAPHIE

- ALABOUVETTE L. 1950. Sélection et production de semences de riz : pp 71–77.
- BARBER S. A. 1977. Application des engrais phosphatés : méthodes, doses et époque d'application en fonction de l'état phosphorique des sols. Phosphore et agriculture N° 70. pp 121-127.
- BERBIER G. 1959. Définition de l'acide phosphorique assimilable du sol. Fertilité N° 6. pp 3-11. Revue trimestrielle.
- BLANCHET R, BOSC M. et MAERTENS C. 1978. Influence de l'état hydrique du sol sur l'alimentation phosphorique des plantes. Phosphore et agriculture N° 72. pp 1-12.
- BOGGIO David et SALL Elimane. C. 2000. Analyse statistique des données -Support de cours - Appui en biométrie au FOFIFA. p20
- BORDAS J. 1950. La fertilisation des rizières. Journées du riz 9 et 10 Novembre. pp 31-36.
- BRUNEL A. et BELEY. J. 1948. Dosage des éléments minéraux chez les végétaux. pp 391-441. Traité pratique de chimie végétale. Tome II.
- BRUNEL A, MASSIBOT J. A. 1948. Le diagnostic foliaire. Méthodes de contrôle biochimique des essais comparatifs de rendement. pp 453-476. Traité pratique de chimie végétale. Tome II.
- BRUYER S. 1959. Etude sur l'acide phosphorique assimilable des sols tropicaux. Fertilité N° 6. pp 13-26. Revue trimestrielle.
- CHABROLIN R. 1967. Utilisation des engrais en rizière à Madagascar. Agronomie tropicale N° 4 Avril. pp 387-405.
- COURS G et DUFOURNET R. 1953. Terminologie botanique du riz. Recherche agronomique de Madagascar n ° 2. p 39. Compte rendu
- CRITCHLEY. 1991. La collecte de l'eau et la rétention de l'humidité du sol. pp 24-25.
- DE DATTA S. K. 1981. The climatic environment and its effects on rice production. pp 9-36 in Principles and practices of rice production - International Rice Research Institute (IRRI).
- DE DATTA S. K. 1981. Tillering capacity and leaf area index effect on yield . pp 163-166 in Principles and practices of rice production - International Rice Research Institute (IRRI).
- DE DATTA S. K. 1981. Water use and water management practices for rice. pp 297-345 in Principles and practices of rice production - International Rice Research Institute (IRRI).

- DE DATTA S. K. 1981. Diagnosis of nutrient deficiencies and toxicities. pp 349-351 in Principles and practices of rice production - International Rice Research Institute(IRRI).
- DE DATTA S. K. 1981. Fertilizer management for rice pp 371-402 in Principles and practices of rice production - International Rice Research Institute(IRRI).
- DOBELMANN J.P. 1953. Production de semences pures. Recherche agronomique de Madagascar n ° 2. p 403. Compte rendu.
- FEYT Henri. 1996. Compte rendu de mission à Madagascar du 11- 27 avril. Supervision au Projet Sud Ouest. pp 1- 30. CIRAD-CA.
- FEYT Henri. 1998. Rapport de mission. Appui au programme semencier du Sud - Ouest. Coopération franco malagasy. Programme Biotrop N°15. Tuléar Madagascar.
- FOTYMA M. 1978. Les principes de la fertilisation phosphatée. Phosphore et agriculture N° 72. pp 13-26.
- GRILLOT G. 1950. La riziculture au Maroc et ses problèmes techniques. Journées du riz 9 et 10 Novembre. pp 3-22.
- GACHON L. 1977. Utilité d'un bon niveau de réserves phosphatées du sol. Phosphore et agriculture N° 70. pp 27-33.
- GOMEZ KWANCHAI A. 1972. Collecte des données. Techniques pour des expérimentations au champ sur le riz (IRRI). pp 37- 47.
- IGNAZI J.C. 1977. Influence des conditions climatiques sur la réponse à l'acide phosphorique des cultures expérimentales. Phosphore et agriculture N° 70. pp 95-101.
- INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUT (IRRI). 1987. Efficiency of nitrogen fertilizer for rice.
- KAROKA. FOFIFA.1995. N°11. Le SRI : le riz miraculeux , pp 10-11.
- KAROKA. FOFIFA. 1996. N°13. Le riz toujours plus haut, toujours plus fort. pp 9-12.
- KAROKA. FOFIFA .1997. N°16 Mai. A la gloire des semences. pp 5-11.
- KATYAL J. C. 1978. Conduite de la fertilisation phosphatée sur rizière. Phosphore et agriculture N° 73. pp 23-36.
- LECOMPT Michel. 1964. Interaction et essai factoriel. Expérimentation et les engrais. Bulletin des engrais N° 467. pp 35-39.
- MEMENTO DE L'AGRONOME.1971. Secrétariat d'état aux affaires étrangères. Interprétation des analyses de sols. pp 63-69.
- MEMENTO DE L'AGRONOME. 2002. Le sol et la production végétale. pp 447-482. Ministère des affaires étrangères. CIRAD – GRET.

- MEMENTO DE L'AGRONOME. 2002. Le fonctionnement d'un peuplement végétal cultivé. pp 483-498. Ministère des affaires étrangères. CIRAD – GRET.
- MOURANES E. 1962. Exigences du riz. Bulletin des engrais N° 449. pp 81-83.
- OLDEMAN.L.R. 1990. Technical Report on agroclimatic characterization of Madagascar. p 50. International Rice Research Institute.
- OLSEN S.R. , BOWMAN R. A. et WATANABE F.S. 1977.: Comportement du phosphore dans le sol et interaction avec les autres éléments nutritifs. Phosphore et agriculture N° 70. pp 35-52.
- RAPPORT D'ACTIVITE DE RECHERCHE . FOFIFA 1997. Le riz sud-ouest.
- RICHARD M. L. 1954. Relations quantitatives dans la nutrition minérales des végétaux. Les études de nutrition minérales chez les végétaux. pp 1-5.
- ROY R. N, SEETHARAMAN S et SINGH R.N. 1978. Recherche en matière d'emploi des engrais en Inde. Phosphore et agriculture N° 74. pp 15-25.
- SEGALEN P. et MOUREAUX C. 1950. Notice de la carte pédologique du Bas-Mangoky. Mémoires de l'institut Scientifique de Madagascar. Série D. Tome II. Fascicule 1.
- SERVICE FERTILITE ET FERTILISATION. 1965. La notion de fertilité appliquée aux sols tropicaux. Division du sol, IRAT. Cahier agronomie pratique. Pays chauds. Sols Fertilité. pp 5-9.
- SERVICE D'APPLICATION DE LA RECHERCHE ET DES ETUDES ECONOMIQUES, IRAT. 1966. Importance de la notion de rentabilité en matière de fertilisation. Difficultés et conditions. Cahier agronomie pratique. Pays chauds. Etudes économiques. pp 55-60.
- SOUBIES L, GADET R. et LENAM M. 1955. Recherche sur l'évolution de l'urée dans le sol et sur son utilisation comme engrais azoté. Extrait des annales agronomiques, n°6. pp 997-1033.
- TERMAN G. L. et ENGELSTAD O. P. 1971. agronomic evaluation of fertilizer p 42. National Fertilizer Development Center . Bulletin Y-21.
- TOMARD V.S et TOOLE J.C. 1980. Measurement of evapotranspiration in rice . Agrometeorology of rice - IRRI, pp 86–93.
- VELLEY J .1953. Techniques analytiques appliquées au diagnostic foliaire .Recherche agronomique de Madagascar n ° 2. pp 8-10 . Compte rendu.
- VELLEY J , ROCHE P et JOLIET B. 1953. Fertilisation du riz sur deux types de sols de la région du lac Alaotra . Recherche agronomique de Madagascar n° 2 . pp 55-77

- VELLEY J. et LATRILLE E. J . 1967. Influence de la date d'apport et la dose d'azote sur l'efficacité de l'azote et du phosphore en rizière. *Agronomie tropicale* N° 4 Avril. pp 351-363.
- VELLEY J. 1967. Influence de la localisation de l'azote et du phosphore en rizière sur leur absorption étudiée avec les isotopes ^{15}N et ^{32}P . *Agronomie tropicale* N° 4 Avril. pp 364-376.
- VELLEY J. et CELTON J. 1968. Influence de la densité de repiquage sur les facteurs du rendement . *Agronomie tropicale* N° 4 Avril, pp 403-421.
- VETTER H. 1977. Importance pour la fertilité du sol de teneurs convenables en P. (Comment le niveau optimum de fertilisation phosphatée se modifie en fonction de différentes teneurs en phosphore des sols). *Phosphore et agriculture* N° 70. pp 13-26.
- WELBANK et al. 1968. Effect of radiation and temperature on efficiency of cereal leaves during grain growth. *Ann. Bot. N. S.* 32: pp79-95
- YSHIZUKA, Y., et TANAKA A. 1953. Biochemical studies on the life history of rice plants. II. Synthesis and translocation of organic constituents. *J. Sci. Soil Manure, Jpn.* 23: pp 113-116
- YOSHIDA, S. et S. B. AHN. 1968. The accumulation process of carbohydrate in rice varieties in relation to their response to nitrogen in the tropic. *Soil Sci. Plant Nutr. (Tokyo)* 14 : pp 153-161
- XIE JIANCHANG et LU RUKUN. 1987. Etat nutritif et fertilisation des sols des plateaux de Chine tropicale et subtropicale. *Fertilisants et agriculture* N° 94. pp 17-32.

ANNEXE 1

I - RELEVÉ DES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES DE 1931 - 1990**Station de MOROMBE - Province de TOLIARA****SOURCES :****1- Banque de données agroclimatologiques MADAGASCAR**

Morombe (1931 – 1960)

(An Agroclimatic characterization of MADAGASCAR L.R Oldeman p.12

Annexe - 1990)

2- Service Météorologique de Toliara – Station de Morombe

(1961 –1990)

Tableau 20 - Période d'observation : 1931 – 1960

Mois	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J
Température minimum °C	13.5	14.5	16.3	18.3	20.2	21.7	23.1	22.9	22.2	20.0	16.5	14.5
Température maximum °C	27.3	27.9	28.9	29.7	30.7	31.8	32.4	32.4	32.2	31.4	29.4	27.9
Température moyenne °C	20.4	21.2	22.6	24.0	25.2	26.8	27.8	27.7	27.2	25.7	23.0	21.2
Humidité relative moyenne %	76	68	70	73	70	72	73	73	73	71	69	67
Précipitation totale (P)mm	2	1	5	4	22	85	123	134	59	5	7	7
Rayonnement total MJ/m²	15.7	18.3	21.6	24.4	25.8	25.0	24.0	22.8	21.2	19.3	16.4	15.0
ETP	81	105	143	151	164	178	177	151	149	118	94	75
P/ETP	0,02	0,01	0,03	0,03	0,13	0,48	0,69	0,89	0,4	0,04	0,07	0,09

ETP : Evapotranspiration potentielle

Tableau 21 - Période d'observation : 1961 – 1990

Mois	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J
Température minimum °C	14	14.6	16.2	18.5	20.2	22.1	22.9	22.9	21.8	19.7	16.5	14.2
Température maximum °C	27.5	28.2	28.8	29.7	30.5	31.2	31.7	31.6	32	30.9	29.3	27.6
Température moyenne °C	20.8	21.4	22.5	24.1	25.4	26.7	27.3	27.3	26.9	25.3	22.9	20.9
Humidité relative moyenne %	74	74	76	76	77	80	80	81	78	77	76	75
Précipitation totale mm	37.3	21.9	10.9	16.5	25	65.2	56.3	53.2	39.9	30	42.1	47.6
Moyenne d'insolation mensuelle (Heure et 1/10)	298.3	316.5	306.6	317.8	319.7	297.7	292.9	254.9	299.6	292.5	303.9	289.6

II - METHODE DE CARACTERISATION DE CLIMAT**1- Méthode utilisée**

- Plusieurs méthodes sont décrites pour mesurer les facteurs du climat, mais la méthode graphique est la plus employée. Ces facteurs sont intimement liés, et ne peuvent souvent être interprétés isolément. On les traduit graphiquement en construisant des diagrammes ombrothermiques et climatiques.

2-Le diagramme ombrothermique

On porte en abscisse les mois de l'année et en ordonnée :

- d'une part, les précipitations mensuelles (exprimées en mm) ;
- d'autre part, les températures moyennes mensuelles (degré Celsius).

L'échelle des températures doit être double de celle des précipitations. Dans ces conditions, un mois est considéré comme sec lorsque le total mensuel des précipitations (en mm) correspond au double de la température moyenne de ce mois.

Sur les courbes obtenues, la saison sèche se trouve matérialisée par la zone où la courbe des températures passe au-dessus de la courbe des précipitations.

Remarque : Si l'on considère que les mois possédant une température moyenne de T° sont favorables à la végétation, on peut définir les mois favorables à la végétation en traçant une droite partant de T°, parallèle à l'axe des abscisses.

3- Le climatogramme

Il est construit en portant les températures moyennes mensuelles en ordonnées, et les précipitations en abscisse.

III - VEGETAUX DES RIZIERES

Tableau 22 : Végétaux des rizières

Groupes	Espèces caractéristiques	
Les Typhas	Typha	latifolia , angustifolia , laxmanni
Le Panicum	Echinochloa	colona, hostii, crus-galli, glabrescens
Les Scirpus	Scirpus	maritimus, micronatus
Les Cyperus	Cyperus	rotundus, iria, difformis
Les Alisma	Alisma	plantago
Les Polygonum	Polygonum	persicaria
Les Phragmites	Phragmites	communis
Les Algues	Vert	
Légumineuses	Sesbania Crotalaria sp	
Convolvulaceae	Ipomoea	aquatica
Salviniaceae	Azolla	
Mimosaceae	Mimosa	asperata
Malvaceae	Hibiscus	
Gramineae	Hyparrhenia Cymbopogon Heteropogon Bracharia	rufa elegans Stapf contortus regularis
Euporbiaceae	Euphorbia sp	
	Ischaemum	rugosum
	Digitaria	ciliaris

IV - DESCRIPTION DE LA VARIETE PRISE COMME PLANTE - TEST

- 1 -NUMERO DE COLLECTION : 2798
 - Nom : Tche Kouaï
 - Origine : Chine
 - Cycle végétatif total : 125 jours
 - Aptitudes culturales : Irrigué

- 2- CARACTERISTIQUES VARIETALES

21- Caractéristiques botaniques

211- Tige

- Hauteur de la plante : 85 à 95 cm
- Port de la plante : semi-dressé
- Pouvoir de tallage : peu élevé (40 talles / touffe)

212- Panicule

- Longueur : 30 cm
- Port de la feuille paniculaire : érigé

213- Grain (paddy)

Type de graine	: rond
Aristation	: nulle
Longueur	: 7,5mm
Teinte	: jaune paille
Poids de 1000 graines	: 21.5gr

214- Caractéristiques physiologiques**a- Résistance**

aux maladies	:moyennement sensible (Pyri. et RYMV)
au froid	: moyen
la germination en panicule	: facile lors de la verse

b- Sensibilité au photopériodisme :photopériodique**23- Caractéristiques industrielles et commerciales****231-Qualité industrielle :**

rendement à l'usinage 70 %

232-Qualité commerciale :

format des variétés et durée de l'évolution

233-Qualité culinaire:

faible qualité cuisson du riz

- 3 - CARYOPSE

Couleur	: blanc
Longueur	: 5,5mm
Translucidité	: moyenne
Ratio	: 2,4

- 4 - CARACTERISTIQUES AGRONOMIQUES

Verse	: moyennement sensible
Rusticité	: moyenne
Tolérance à la pyriculariose	: moyennement sensible
Egrenage	: moyennement sensible
Réponse aux engrais	: une fumure modérée est recommandée

- 5 - RENDEMENTS EN ESSAIS

Rendement moyen : 6 à 6,5 t/ha pour un semis de mi-Décembre

4,5 à 5 t/ha pour un semis de mi-Janvier

Rendement maximum observé : 10t/ha

Région de culture : Sud-Ouest , Ouest , avec maîtrise de l'eau

V –ENGRAIS UTILISES**Tableau 23 : Engrais utilisés**

Nature des engrais	Forme	Dose	Formule chimique
Engrais azoté (simple)	Urée 46%	No = 0 kg de N/ha N ₁ =90 kg de N/ha	CO(NH ₂) ₂
Engrais phosphaté (simple)	Superphosphate triple (TSP) 45% P ₂ O ₅	Po = 0 kg de P/ha P ₁ = 60 kg de P/ha	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ , H ₂ O
Engrais potassique (simple)	Chlorure de potassium 60% K ₂ O	Ko = 0 kg de K/ha K ₁ = 60 kg de K/ha	KCl

ANNEXE 2

METHODES DE COLLECTE DES DONNEES DES EXPERIMENTATIONS AU CHAMP SUR LE RIZ

- **1-Echantillonnage de parcelle pour la mesure des caractères**

La méthode d'échantillonnage spécifie les trois éléments suivants:

- 11-** unité d'échantillonnage sur laquelle les mesures seront faites (4 touffes adjacentes ou 1m² de surface) ;
- 12-** la méthode de sélection des unités d'échantillon d'une parcelle ;
- 13-** la dimension de l'échantillon, c'est à dire le nombre d'échantillon à prélever dans chaque parcelle.

Procédé d'échantillonnage

- on choisit au hasard les unités d'échantillonnage et on utilise les mêmes unités pour toutes les parcelles des répétitions ;

- lorsque l'échantillonnage nécessite la destruction des plants ou le piétinage fréquent des parcelles, on réserve la partie centrale de la parcelle pour récolter et on échantillonne dans le restant de la parcelle, en excluant les lignes de bordure (on laisse au milieu de la parcelle une surface pour la récolte et on utilise la surface environnante pour l'échantillonnage) ;

- on utilise le même échantillon de plants pour tous les stades d'observation pour la mesure du même caractère aux différents stades croissances ;

- pour la dimension de l'échantillon, trois unités d'échantillonnage de deux touffes X deux touffes par parcelle (donnant au total 12 touffes par parcelle) permet d'avoir un niveau de précision adéquat pour les caractères les plus mesurés habituellement : hauteur de la plante, nombre de talles, composantes de rendement, indice de surface foliaire.

- **2 - Méthode de mesure des rendements en grains remplis**

Le rendement en grains de riz est normalement exprimé en kg/ha ou en t/ha à 14 % d'humidité. Pour chaque parcelle, on effectue le battage, le nettoyage, le séchage et le pesage séparément de tous les grains d'une surface récoltée. Immédiatement après avoir pesé les grains d'une parcelle, on détermine leur pourcentage d'humidité M à l'aide d'un humidimètre. On ajuste le poids des grains à 14% d'humidité selon la formule :

$$\text{Poids de grains ajustés} = A \times W$$

où A est le coefficient d'ajustement et W le poids des grains récoltés.

Le coefficient A se calcule par la formule: $A = 100 - M/86$

En présence des touffes manquantes ou hors-types inférieure :

- si la réduction du nombre des touffes n'est pas supérieure à 20% , le rendement en grains par parcelle est égale à $W/n \times N$ où W est poids en grains récoltés à partir des touffes récoltées, n le nombre des touffes récoltées et N le nombre total de touffes dans une parcelle normale ;

- si la réduction du nombre de touffes est supérieure à 20%, on ne récolte pas dans la parcelle. On traite une telle parcelle comme une donnée manquante dans l'analyse des données.

- **3 - Mesure de la hauteur de la plante et du nombre de talles**

La hauteur est la distance entre niveau du sol et t

- le bout de la plus haute feuille (pour les plantules et les jeunes plants) utilisé

- l'extrémité de la panicule la plus haute (pour les plantes à maturité)

Le nombre de talles par unité de surface correspond au nombre de talles par plante si un brin par touffe a été utilisé lors du repiquage.

A la récolte, les talles peuvent être séparées en talles fertiles et talles stériles.

Echantillonnage : les deux caractères sont mesurés en même temps et l'unité d'échantillon ' 4 touffes adjacentes est utilisée

Procédé de mesure de hauteur des plantes :

On compte les talles sur toutes les 4 touffes de chaque unité et mesure la hauteur des plantes sur une touffe seulement par unité.

Pour la mesure du même caractère aux différents stades de croissance, on utilise les plants du même échantillon aux différents stades d'observation.

- **4 - Mesure des composantes de rendement**

Les composantes les plus importantes du rendement du riz sont :

- le nombre de panicules : le nombre , à maturité, de panicules entièrement dégainés et pourtant des grains par plante ou par unité de surface ;

- le nombre de grains remplis par panicule :le nombre moyen de grains entièrement développés par panicule ;

- le pourcentage de grains vides : la proportion des grains peu développés ou totalement non développés ;
- le poids des grains : le poids des grains totalement développés , rapporté sur la base de 1000 graines.

Procédé de comptage du nombre des talles

- On sélectionne n (n = 3 soit 12 touffes par parcelle) unités d'échantillonnage de 4 touffes x 4 touffes dans la surface d'expérimentation (bordures exclues) de chaque parcelle.
- On compte le nombre total de panicules (P) sur toutes les touffes d'échantillon par parcelle.
- Pour chaque touffe d'échantillon, on sépare la panicule centrale ou du milieu (basée sur la hauteur de chaque talle) du reste des panicules.
- Les grains des panicules centrales de toutes les touffes échantillon sont égrenés et mélangés, puis on sépare les grains vides des grains pleins
- On compte les grains pleins (f) et les grains vides (v, et on pèse les grains pleins (w).
- On réalise le battage des grains restantes de toutes les touffes échantillons et on sépare les grains vides des grains pleins. Puis on compte les grains vides (U) et on pèse les grains pleins (W).
- On calcule le nombre de panicules par touffe, le nombre de grains pleins par panicule, le pourcentage de grains vides et le poids de 1000 grains selon les formules suivantes :

4 – 1 : Nombre de panicules par touffe

$$\text{Nombre de panicules par touffe} = P / 4n$$

4 – 2 : Nombre de grains remplis par panicule

$$\text{Nombre de grains remplis par panicule} = \frac{f(W + w)}{P}$$

w

4 – 3 : Pourcentage de grains vides

$$\text{Pourcentage de grains vides} = \frac{W+v}{W + w) / w + U + v} \times 100$$

4-4 : Poids de 1000 grains à 14 % d'humidité

$$\text{Poids de 1000 grains à 14 \% d'humidité} = 100 - M/86 \times f \times 100$$

- 5 – Mesure de l'indice de surface foliaire ISF

L'index de surface foliaire est la surface de feuille par unité de surface de champ.

On applique la méthode de mesure avec des feuilles non enlevées des plantes dont le procédé est le suivant :

choisir au hasard n = 10 touffes dans chaque parcelle pour avoir un degré de précision élevé ;

compter dans chaque parcelle les talles pour chaque touffe d'échantillon ;

mesurer la longueur et la largeur maximale de chaque feuille située sur la talle centrale ;

calculer la surface de chaque feuille en se basant sur la méthode : Longueur x largeur.

$\text{Surface foliaire} = K \times L \times l \quad \text{où } K \text{ est le facteur d'ajustement}$ <p style="text-align: center;">L et l : longueur et largeur de la feuille</p>
--

La valeur de K varie selon la forme de la feuille, de la variété, de la situation nutritionnelle et du stade de développement de la feuille.

La valeur 0,75 peut être prise pour tous les stades de croissance, sauf pour les deux stades plantule et maturité pour lesquels K = 0.67.

- calculer la surface foliaire par touffe et l'indice de surface foliaire :

$$\text{ISF} = \frac{\text{Somme des surfaces foliaires par touffe mesurée sur un échantillon de } n = 10 \text{ touffes (cm}^2 \text{)}}{\text{Surface du sol couvert par } n = 10 \text{ touffes (cm}^2 \text{)}}$$

ANNEXE 3

- METHODE D'ANALYSE ET D'INTERPRÉTATION DANS UN DISPOSITIF EN BLOCS ALEATOIRES COMPLETS

- 1 – Etapes de l'analyse statistique

Il y a deux étapes dans l'analyse :

11 – Détermination de la somme des carrés des écarts de toutes les observations par rapport à la moyenne générale

12 – Calcul des trois sommes :

- Somme pondérée des écarts des moyennes des blocs par rapport à la moyenne générale

- Somme pondérée des écarts de k moyennes des traitements dont on cherche à déterminer l'effet

- Somme des carrés des écarts de chaque observation par rapport à la moyenne de bloc au quel elle appartient

13 – Calcul des carrés moyens ou variance

Carré moyen (CM) ou variance = Somme des carrés/degé de liberté correspondant.

14 – Calcul du rapport des variances (F) :

- variance du bloc / variance de l'erreur ;

- variance du traitement / variance de l'erreur.

- 2 - Analyse de la variance à un et trois facteurs

21 – Anova à un seul facteur

Source de variation	Degré de liberté (ddl)	Carré moyen (C M)	F calculé	F table		Signification
				5 %	1 %	
Traitement	t – 1	C MT	CMT / CMR			
Bloc	r – 1	C MB	CMB / CMR			
Résiduelle	(r-1) (t-1)	C MR				
Total						

T : traitement et B : bloc

22 – Anova à trois facteurs étudiés

Source de variation	Degré de liberté (Ddl)	Carré moyen (CM)	F calculé	F table		Signif.
				5 %	1 %	
Facteur 1	n-1	CM1	CM1/CMR			
Facteur 2	p-1	CM2	CM2/CMR			
Facteur 3	k-1	CM3	CM3/CMR			
F1x2	(n-1)(p-1)	CM1*2	CM12/CMR			
F1x3	(n-1) (k-1)	CM1*3	CM13/CMR			
F2x3	(p-1) (k-1)	CM2*3	CM23/CMR			
F 1 x 2 x 3	(n-1)(p-1)(k-1)	CM1*2*3	CM123/CMR			
Bloc	r-1	CMB	CMB/CMR			
Résiduelle	(r-1) (npk-1)	CMR				

Total						
-------	--	--	--	--	--	--

t, n, p, k : nombre de modalités du traitement c'est-à-dire le nombre de niveaux de chaque facteur considéré

r : nombre de répétitions

L'étude des interactions peut être résumée dans le tableau suivant :

Facteur étudié	Effets Simples		Effets moyens ou Principaux	Interaction
N	sans P	n-t	$(n-t)+(np-p)/2$	$(n-t) + (np-p)/2 - (n-t)$
	avec P	np-p		
	sans K	n-t	$(n-t) + (nk-k)/2$	
	avec K	nk-k		$(n-t) + (nk-k)/2 - (n-t)$
	sans PK	n-t	$(n-t) + (npk-pk)/2$	
	avec PK	npk-pk		$(n-t) + (npk-pk) - (n-t)$
P	sans K	p-t	$(p-t) + (pk-k)/2$	$(p-t) + (pk-k)/2 - (p-t)$
	avec K	pk-k		
	sans NK	nk-t	$(nk-t) + (npk-nk)/2$	
	avec NK	npk-nk		$(nk-t) + (npk-nk)/2 - (nk-t)$
K	sans NP	np-t	$(np-t) + (npk-np)/2$	$(np-t) + (npk-np)/2 - (np-t)$
	avec NP	npk-np		

t, n, p, k, np, nk, pk, npk : rendements moyens des résultats obtenus en t/ha

correspondant aux 8 traitements (ou combinaisons)

Pour tous les résultats obtenus dans cette étude, on interprète les effets de trois facteurs : facteur1=azote, facteur2=phosphore, facteur3=potassium)et les interactions suivantes : f1 x f2 , f1 x f3 , f2 x f3 et f1 x f2 x f3

23 – Comparaison globale des blocs et des traitements

On teste l'effet de chacun des facteurs contrôlés. Ce test consiste à comparer la valeur trouvée pour F à celle qui est lue dans la table de Fisher Snedecor aux lignes et colonnes appropriées, au seuil de probabilité choisi.

Il y a des différences significatives dans l'ensemble des blocs ou traitements dans le cas où $F_{calculé} > F_{table}$

24 – Comparaison des moyennes

241 – La méthode de Newman et Keuls

On détermine, parmi les moyennes de traitements considérées, celles qui sont différentes significativement. Le principe de cette méthode repose sur la comparaison des amplitudes des groupes de k moyennes à la plus petite amplitude attendue à un niveau de signification donné. L'amplitude d'un groupe de moyennes est la plus grande différence entre deux moyennes de ce groupe.

Un groupe de k moyennes est hétérogène, c'est à dire qu'il existe des différences entre les moyennes constituant ce groupe, si l'amplitude dk du groupe est supérieur ou égale à la plus petite amplitude significative(ppas) relative à un groupe de k moyennes qui est définie par : $ppas(k) = q(1-a) \sqrt{v/n}$

$q(1-a)$: quantité d'ordre a de l'étendue au sens de Student .

v : variance commune des traitements

n : nombre de répétitions

On détermine d'abord l'amplitude dp observée des p moyennes et la $ppas$ relative à ces moyennes puis on fait la comparaison de dp à la $ppas$.

- Si $dp < ppas$: les p moyennes ne sont pas significativement différentes.
- Si $dp > ppas$: on compare successivement l'amplitude des différents groupes de $(p-1)$ moyennes, $(p-2)$ moyennes, etc., avec la $ppas$ correspondant jusqu'à ce que l'amplitude observée d'un groupe soit inférieure à la $ppas$ relative à ce groupe.

Les moyennes constituant ce dernier groupe sont alors déclarées non significativement différentes. On range les moyennes par ordre décroissant.

Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes.

242 - La méthode DUNCAN

La méthode proposée par Duncan [1955], sous le nom de new multiple range test, est analogue à celle de Newman et Keuls. Elle en diffère essentiellement par l'emploi de valeurs critiques $q_{1-\alpha}$ différentes des valeurs $q_{1-\alpha}$ préconisées par Newman et Keuls.

Les valeurs critiques, calculées par Duncan [1955] et par Harter [1960] sont sensiblement plus petites que les valeurs correspondantes du test de Newman et Keuls.

Les résultats déduits de la méthode de Duncan sont, dans l'ensemble, plus proches de ceux obtenus à l'aide de la plus petite différence significative. En fonction des tables de Duncan [1955] ou Harter [1960], on calcule les plus petites amplitudes significatives comme à la méthode de Newman et Keuls.

25- Interprétation des interactions

Dans l'interprétation des interactions des différents facteurs contrôlés d'une expérimentation on examine successivement :

- les interactions et leur signification en les comparant à la $ppas$;
- si l'interaction n'est pas significative, on examine les effets moyens ou effets principaux des facteurs considérés (effet moyen d'un facteur est fourni par la différence entre la moyenne des parcelles avec ce facteur et la moyenne des parcelles sans lui) ; il est égal à la moyenne des effets simples de ce facteur ;
- si l'interaction est significative, on examine les effets simples de chaque facteur (effets d'un facteur en présence et en l'absence d'autre facteur) et leur signification en les comparant à la $ppas$.

L'interaction correspond à la quantité qu'il faut ajouter (ou retrancher) aux effets simples d'un facteur pour obtenir les effets principaux du même facteur. Les effets des facteurs peuvent être additifs si utilisés ensemble donnent une réponse égale à la somme de la réponse de chacun pris séparément.

Il y a interaction lorsque l'apport d'un facteur modifie l'action d'autres facteurs. Elle peut être synergique (si la modification d'action est un renforcement de l'action des autres), antagoniste (si l'action d'un facteur diminue celle de l'autre), positive (les facteurs produisent un effet plus grand que la somme de leurs actions indépendantes) ou négative (si les facteurs ensemble donnent une réponse supérieure à chacun pris séparément). Cet examen nous permet de comprendre si l'action de chaque facteur est certaine ou nulle, positive ou négative en présence ou en l'absence d'autre facteur.

ANNEXE 4

METHODES DE REFERENCE POUR LA DETERMINATION DES ELEMENTS MINERAUX MAJEURS DANS LES VEGETAUX (METHODES DE DOSAGE D' AZOTE, DE PHOSPHORE ET DE POTASSIUM DANS LES VEGETAUX)

Pour le dispositif d'étude, des prélèvements de feuilles ont été effectués à différentes périodes de la végétation : 50 jours après le repiquage (plein tallage) et début de la floraison (lorsque les étamines sont apparentes sur la panicule) sur toutes les parcelles d'essai. 50 feuilles ont été prélevées sur chaque parcelle élémentaire. Les feuilles, prélevées en plein tallage devraient avoir un poids en corrélation avec la production de matières sèches et avec les teneurs en éléments majeurs.

Les feuilles prises à la floraison sont des feuilles paniculaires (1^{ère} feuille au dessous de la panicule).

Concernant la méthode d'analyse, les feuilles séchées à l'étuve à 105°C ont été broyées, ensuite analysées en utilisant les techniques analytiques appliquées au diagnostic foliaire (VELLY.J). Les méthodes, les techniques d'analyses, le mode opération et l'expression des résultats du dosage sont données et décrits dans le paragraphe ci-dessous.

- 1- Technique de minéralisation

Le mode de minéralisation est utilisable pour les dosages de P, K, Na, Ca, Mg et de certains oligo-éléments.

11-Réactifs :

Acide chlorhydrique concentré d=1,19

Acide fluorhydrique

Eau distillée

12-Mode opératoire

-Homogénéiser la poudre végétale finement broyée et la sécher seize heures à 70-80°C;refroidir 30mn au dessiccateur.

-Peser 2g d'échantillon en capsule de platine .

-Disposer la capsule au four froid, élever la température à 450°C en deux heures et la maintenir deux heures, refroidir(remarque : les cendres obtenus sont généralement claires)

-Humecter les cendres par 2 à 3 ml d'eau et 1ml d'acide chlorhydrique concentré, lentement ajouté.

-Chauffer sur plaque chauffante jusqu'à apparition des premières vapeurs, ajouter quelques ml d'eau .

-Filtrer sur filtre sans cendre, dans une fiole jaugée de 100ml, rincer 3 ou 4 fois à l'eau tiède

-Incinérer le papier filtre et son contenu pendant une demi-heure à 550° au maximum.

-Reprendre par 5ml de FH.

-Aller à sec sur plaque chauffante douce ou sur bain-marie, sans dépasser 250°.

-Reprendre par 1ml de HCl concentré. Laver à l'eau tiède . Filtrer . Amener à 100ml, compléter au trait de jauge après refroidissement .

Les éléments P, K, Na, Ca, Mg sont déterminés sur la même solution

L'azote fait appel à une méthode de minéralisation propre

- 2- Dosage des éléments minéraux

21-Dosage de l'azote

211- Méthode :

Les laboratoires retiennent le principe de Kjeldahl

212-Principe :

En attaquant la matière végétale par H₂SO₄ concentré, à l'ébullition, en présence de catalyseur, l'azote est transformé en (NH₄)₂ SO₄ . On distille avec un excès de soude et titré l'ammoniac entraîné par H₂SO₄ N/14.

213-Réactifs :

H₂SO₄ pur "pour analyses", d = 1,84

Lessive de soude.

H₂SO₄ N/14

Catalyseur :

K₂SO₄ "pour analyses" 80 g

CuSO₄ anhydre "pour analyses", 20g (pulvérisé)

Sélénium pur, 2g

Indicateur coloré :

mélange en volume égaux de rouge de méthyle (0,66 o/oo) et de vert de bromocrésol (0,33o/oo) dans l'alcool éthylique à 95°

Acide borique en solution à 2% dans l'eau .

214- Mode opératoire

Introduire dans un matras de 150ml, de 150 à 200 mg d'échantillon végétal(humidité comprise entre 0 et 10%) en évitant d'en déposer sur le col, puis 5ml d'acide sulfurique concentré; laisser en contact une demi-heure.

Ajouter 200mg environ de catalyseur et, après avoir mis deux ou trois petites billes de verre, chauffer d'abord doucement quelques instants, puis porter à ébullition. La décoloration complète est généralement obtenue en 30 mn. Durée totale du chauffage : une heure.

Laisser refroidir et ajouter une seule fois 30ml d'eau.

Au moment de distiller, ajouter d'un seul coup 25ml de lessive de soude et fixer le matras à l'appareil à entraînement par la vapeur.

Recueillir le distillat dans le bécher de 250ml contenant 0,5ml d'indicateur et 10ml d'acide borique, l'extrémité inférieure d'un réfrigérant touchant le fond du bécher . Durée de la distillation : 2,30 mn à 3 mn.

Volume recueilli : 100 à 125ml.

Titrer avec l'acide sulfurique N/14 (virage du vert au rouge).

215- Calcul des résultats :

1 ml de solution N/14 correspond à 1 mg d'azote.

Soit p la prise d'essai en grammes, n le volume en ml de la solution de titrage, la teneur d'azote en % de matière sèche est donnée par :

$$N \% = n / 10 \times p$$

22- Dosage du phosphore

221- Méthode :

Spectrophotométrie d'absorption

222- Principe :

En solution acide, en présence d'ions V^{5+} et Mo^{6+} , l'acide phosphorique donne un complexe phosphovanadomolybdique jaune, dont la densité optique est mesurée spectrophotométriquement à 430µm.

223- Réactifs :

Réactif nitrovanadomolybdique préparé en mélangeant :

- 1400ml de molybdate d'ammonium à 5%
- 100ml de vanadate d'ammonium à 2,5 % : dissoudre 25g de vanadate d'ammonium dans 500ml d'eau chaude, ajouter 20ml NO_3H (d= 1,33)
- Après refroidissement, amener à 1l
- 67ml de NO_3H (d=1,33)
- eau , quantité suffisante pour faire 500ml.

Solution étalon de phosphore à 1mg P/ml : peser 0,439 g de phosphate mono-potassique pur "pour analyse" (PO_4H_2K) et le dissoudre dans 100ml d'eau

Solution à 20ug P/ml : diluer cinquante fois la solution précédente.

224- Mode opératoire

Introduire une prise d'essai de 5 à 10ml suivant la concentration présumée en phosphore de la solution de cendre dans un ballon jaugé de 25ml.

Ajouter 5ml de réactif nitrovanadomolybdique. Compléter le volume avec de l'eau déminéralisée. Attendre une heure avant de passer au spectrophotomètre.

Mesurer la densité optique à 430 µm. La coloration reste stable pendant plusieurs heures.

Remarque : il est possible d'utiliser un photolorimètre avec filtre bleu (468µm).

225- Etalonnage :

Les lectures sont comparées à celles données par une gamme étalon de phosphore traitée dans les mêmes conditions et qui comprend généralement les teneurs suivantes :

0,2,4,6,8,10,12 µg P/ml

226- Calcul des résultats :

Soit p la prise d'essai en gramme, V le volume de solution minéralisée, n la concentration de P en µg/ml dans la solution photométrique (10 ml de solution initiale étendue à 25 ml). La teneur de phosphore en % de matière sèche est donnée par :

$$P \% = \frac{n \times 25 \times V}{p \times 100000}$$

23- Dosage de potassium et du sodium

231- Méthode :

Spectrophotométrie de flamme (d'émission)

232- Principe :

Les émissions spectrales du potassium et du sodium résultant de l'introduction de la solution des cendres dans une flamme sont comparées à celles obtenues à partir de solutions synthétiques d'étalonnage.

233- Réactifs :

Acide chlorydrique, d=1,19

Acide chlorydrique à 2% (en volume)

Eau distillée

Solution étalon de base de potassium à 1 mg K/ml; dissoudre 1,907g de KCl pur "pour analyse" et séché une heure à 400°C dans un litre d'acide chlorydrique à 2% (K = 1000 µg/ml)

Solutions d'étalonnage de potassium : préparer à partir de la solution précédente une gamme contenant 0,50,75,100,125,150,175 et 200µg K/ml en milieu HCl 2%

Remarque : il est souvent nécessaire d'utiliser des solutions complexes, c'est à dire contenant à côté du potassium, des concentrations moyennes des autres éléments

(Ca, Mg, P). C'est en particulier le cas lorsque le potassium est faible par rapport aux autres éléments.

Solution de base de sodium à 1mg/Na/ml:dissoudre 2,5413 g de NaCl chimiquement pur sec dans un litre d'acide chlorydrique à 1%.

Solution d'étalonnage de sodium : préparer à partir de la solution précédente une gamme contenant 0,10,25,75,100 µg Na / ml en milieu HCl 1% et en présence de concentrations moyennes de K, Ca, Mg correspondant à la composition minérale du milieu analysé.

234- Mode opératoire :

Mesure spectrophotométrique du potassium

Diluer la solution de l'échantillon convenablement (2 à 10 fois) pour avoir K entre 50 et 200µg/ml en milieu HCl à 2%.

Utiliser de préférence un spectrophotomètre équipé d'une flamme air-propane (ou air-acétylène)

Régler la sensibilité du spectrophotomètre sur l'émission K à 760 µm pour avoir toute l'étendue de l'échelle avec la solution étalon à 200µg K/ml et le zéro de l'échelle avec l'eau distillée ou l'étalon 50 µg K/ml.

Photométrer successivement les solutions étalons, les solutions d'analyses et à nouveau les solutions étalons.

235- Calcul des résultats

Tracer la courbe d'étalonnage et déterminer la concentration en potassium de solutions inconnues, soit : n ug / ml la valeur trouvée.

Soit p le poids de la prise d'essai en g, V le volume de la solution des cendres en ml, D la dilution de la solution à photométrer.

La teneur de potassium en % de matière sèche est donnée par :

$$K \% = \frac{n \times D \times V}{p \times 10000}$$

ANNEXE 5

RESULTATS ET ANALYSE STATISTIQUE

- **I - OBSERVATIONS DES DIFFERENCES ENTRE LES TRAITEMENTS DUNE EXPERIMENTATION DUE A LA FLUCTUATION DANS LES RESULTATS**

- **1 - Constatation**

Lorsqu'on subdivise un champ de riz quelconque en de nombreuses petites parcelles, toute soumises ou non au même traitement et qu'on mesure le même caractère dans chaque parcelle, on constate une fluctuation plus ou moins importante des résultats : il existe des différences entre les traitements.

- **2 - Causes de la fluctuation**

La fluctuation pourrait être due :

- au hasard (erreur) lorsque toutes les parcelles sont soumises au même traitement ;
- à la résultante de la fluctuation (la fluctuation totale) due au hasard (erreur) et celle due aux traitements, quand on introduit à certaines parcelles une cause supplémentaire de fluctuation considérée efficace (en expérimentation, le terme traitement désigne tout ce que l'on fait varier volontairement dans un essai)

- **3 - Intensité de fluctuation**

On peut mesurer et apprécier l'intensité de la fluctuation grâce à la "variance", terme utilisé pour chiffrer la fluctuation. On détermine l'intensité ou variance de la fluctuation due au hasard et celle due aux traitements.

Si la variance des traitements n'est pas plus grande que celle de l'erreur, on ne pourra pas conclure, car on pourra toujours supposer que les différences observées entre les traitements ne sont en réalité que des différences imputables au hasard.

Si la variance des traitements est très supérieure à la variance de l'erreur, on pourra affirmer que les différences ne peuvent pas être imputées au hasard.

- **4 - Jugement sur la fluctuation**

41 : Signification globale des traitements

On détermine le rapport F de deux variances (variance de l'erreur et variance de traitement), constituant le F calculé et qui a permis de porter un jugement global sur les différences entre les traitements.

On compare cette valeur de F trouvée avec celle de F théorique pour connaître si les résultats n'étaient pas le fait du hasard mais bien le fait des traitements.

On conclue :

- si $F_{\text{calculé}} > F_{\text{théorique}}$ au seuil de 1 %, l'essai est hautement significatif et les différences observées entre les traitements sont hautement significatives ;
- si $F_{\text{calculé}} > F_{\text{théorique}}$ au seuil de 5%, l'essai est significatif et les différences entre les traitements sont aussi significatives ;
- si $F_{\text{calculé}} < F_{\text{théorique}}$, l'essai n'est pas significatif.

42 : Signification détaillée de chaque effet des traitements

On subdivise les effets des traitements en plusieurs parties ayant chacune 1 degré de liberté. On étudie l'influence de chaque traitement sur le caractère considéré : effets de l'azote, du phosphore, de potassium et des interactions.

- **II - LES CALCULS STATISTIQUES ET LEUR INTERPRETATION PRATIQUE**

Tout le calcul statistique est centré sur la notion d'erreur :

- erreur aléatoire : répartie au hasard entre les traitements ;
- erreur systématique: liée aux traitements d'une façon plus ou moins étroite, cette erreur doit être éliminée au maximum.

Coefficient de Variation (CV) : c'est l'erreur exprimée en pourcentage de la moyenne permettant de connaître la précision de l'essai. Si le CV est faible, meilleur est la précision de l'essai et moins il y a d'erreur dans les résultats.

III – RESULTATS ET ANALYSE STATISTIQUE

1 - Hauteur de la plante

11 – Hauteur 28 jours après le repiquage (20-03-04)

Tableau 24 : Hauteur en cm à 28 jours après le repiquage

	R1	R2	R3	R4	Moyenne
Témoin	41,5	39,5	42	43,5	41,8
N	43	47,5	47	46,3	46,8
P	43,3	43,3	46	44,5	44,3
K	42,5	43,5	42,5	45,8	43,5
NP	45	46	48	49	47
NK	44	47,3	47	49,5	47
PK	45,3	46,3	48	42,5	45,5
NPK	47,5	48,3	47,5	48,5	48

111 - Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F calculé	F table		Observations (signification)
Totale	31	6.43		5%	1%	
Traitements	7	18.04	7.52	2.49	3.65	HS
N	1	84.18	35.14	4.32	8.02	HS
P	1	22.95	9.58	4.32	8.02	HS
K	1	13.91	5.81	4.32	8.02	S
NP	1	3.58	1.49	4.32	8.02	NS
NK	1	0.95	0.39	4.32	8.02	NS
PK	1	0.38	0.16	4.32	8.02	NS
NPK	1	0.30	0.13	4.32	8.02	NS
Blocs	3	7.60	3.17	3.07	4.87	S
Résiduelle	21	2.4				

CV = 3.4%

112 – Comparaison des moyennes

Fumure	Nombre de moyennes	ppas	Libellés de facteur	Moyennes	Groupes homogènes
Azote	2	1.14	N1 No	46.96 43.72	a b
Phosphore	2	1.14	P1 Po	46.19 44.49	a b
Potassium	2	1.14	K1 Ko	46 44.68	a b

12 – Hauteur 45 jours après le repiquage (06-04-04)

Tableau 25 : Hauteur 45 jours après le repiquage (06-04-04)

	R1	R2	R3	R4	Moyenne
- Témoin	67,5	65,7	68,3	67,5	67,3
N	67,5	78,5	77,7	75	74,8
P	71,2	70,8	73	69,7	71,3
K	69	72,2	66	65,7	68,3
NP	79,3	75	83,7	81,7	80
NK	71,3	77,8	75,3	87,7	78
PK	74,2	73,7	65,7	72,7	71,5
NPK	81,2	80,5	80,3	80,5	80,8

121 - Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F calculé	F table		Observations (signification)
Totale	31	35.5		5%	1%	
Traitements	7	107.65	6.98	2.49	3.65	HS
N	1	613.37	39.78	4.32	8.02	HS
P	1	114.38	7.42	4.32	8.02	S
K	1	14.71	0.95	4.32	8.02	NS
NP	1	0.16	0.01	4.32	8.02	NS
NK	1	3.58	0.23	4.32	8.02	NS
PK	1	5.2	0.34	4.32	8.02	NS
NPK	1	2.15	0.14	4.32	8.02	NS
Blocs	3	8.19	0.53	3.07	4.87	NS
Résiduelle	21	15.42				

122 – Comparaison des moyennes

Fumure	Nombre de moyennes	ppas	Libellés de facteur	Moyennes	Groupes homogènes
Azote	2		N1 No	78.31 69.56	a b
Phosphore	2		P1 Po	75.83 72.04	a b

13 – Hauteur à 76 jours après le repiquage (07-05-04)

Tableau 26 : Hauteur à 76 jours après le repiquage (07-05-04)

	R1	R2	R3	R4	Moyenne
Témoin	87,2	87	91,6	93,7	90
N	94,3	98,8	98,1	89	95
P	85,3	92,1	91,6	91,5	90,25
K	87,4	91,8	77,9	90,3	86,8
NP	99,8	95,5	104	102	101
NK	91,3	97,7	94,8	102	96,5
PK	88,4	89,1	91,3	93,3	90,5
NPK	105	102	99,6	101	102

123 - Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F calculé	F table		Observations (signification)
Totale	31	38.46		5%	1%	
Traitements	7	116.94	7.32	2.49	3.65	HS
N	1	660.66	41.33	4.32	8.02	HS
P	1	107.31	6.71	4.32	8.02	S
K	1	0.06	0	4.32	8.02	NS
NP	1	23.12	1.45	4.32	8.02	NS
NK	1	15.68	0.98	4.32	8.02	NS
PK	1	6.48	0.41	4.32	8.02	NS
NPK	1	5.28	0.33	4.32	8.02	NS
Blocs	3	12.66	0.79	3.07	4.87	NS
Résiduelle	21	15.98				

124 – Comparaison des moyennes

Fumure	Nombre de moyennes	ppas	Libellés de facteur	Moyennes	Groupes homogènes
Azote	2		N1 No	98.43 89.34	a b
Phosphore	2		P1 Po	95.72 92.06	a b

14 - Hauteur à la récolte**141 – Résultats (tableau 8)**

	R1	R2	R3	R4	Moyenne
Témoin	89,7	91,3	94,3	94,3	92,5
N	96,7	99	98	92	96,5
P	89	96,7	95,3	98	94,8
K	92	95,3	83,7	91,3	90,5
NP	105	99	108	110	106
NK	101	105	88,7	105	100
PK	94	94	98,7	96,7	95,8
NPK	106	109	107	110	108

142 – Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F calculé	F table		Observations (signification)
Totale	31	48.19		5%	1%	
Traitements	7	150.90	8.23	2.49	3.65	HS
N	1	657.94	35.49	4.32	8.02	HS
P	1	306.9	16.74	4.32	8.02	HS
K	1	13.92	0.76	4.32	8.02	NS
NP	1	45.36	2.47	4.32	8.02	NS
NK	1	22.61	1.23	4.32	8.02	NS
PK	1	1.85	0.10	4.32	8.02	NS
NPK	1	7.71	0.42	4.32	8.02	NS
Blocs	3	17.59	0.96	3.07	4.87	NS
Résiduelle	21	18.33				

143 – Comparaison des moyennes

Fumure	Nombre de moyennes	ppas	Libellés de facteur	Moyennes	Groupes homogènes
Azote	2	3.15	N1 No	102.46 93.39	a b
Phosphore	2	3.15	P1 Po	101.03 94.83	a b

15 - Hauteur de la plante à différentes périodes de végétations**Tableau 27 : Hauteur de la plante à différentes périodes de végétations**

Période	Témoin.	N	P	K	NP	NK	PK	NPK
20-03-04	41.8	46.8	44.3	43.5	47	47	45.5	48
06-04-04	67.3	74.8	71.3	68.3	80	78	71.5	80.8
07-05-04	90	95	90.25	86.8	101	96.5	90.5	102
19-05-04	92.5	96.5	94.8	90.5	106	100	95.8	108

151 - Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F calculé	F Table		Observations (signification)
Totale	31	469.2		5%	1%	

Traitements	7	87.03	18.56	2.49	3.65	HS
N	1	470.86	100.5	4.32	8.02	HS
P	1	118.	25.19	4.32	8.02	HS
K	1	5.57	1.19	4.32	8.02	NS
NP	1	6.98	1.49	4.32	8.02	NS
NK	1	5.32	1.14	4.32	8.02	NS
PK	1	0.08	0.02	4.32	8.02	NS
NPK	1	2.39	0.51	4.32	8.02	NS
Blocs	3	4612.54	984.47	3.07	4.87	HS
Résiduelle	21	4.69				

152 – Comparaison des moyennes

Fumure	Nombre de moyennes	ppas	Libellés de facteur	Moyennes	Groupes homogènes
Azote	2	1.59	N1 No	81.71 74.04	a b
Phosphore	2	1.59	P1 Po	79.8 75.96	a b

- 2 - Nombre de talles par touffe

21 – Nombre de talles par touffe 28 jours après le repiquage(20-03-04)

Tableau 28 : Nombre de talles par touffe 28 jours après le repiquage(20-03-04)

-	R1	R2	R3	R4	Moyenne
Témoin	6	6	7	6	6
N	7	9	10	10	9
- P	7	8	8	8	8
K	6	8	7	8	7
NP	10	9	10	11	10
NK	7	8	10	10	9
PK	8	7	8	9	8
NPK	9	9	11	11	10

211 - Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F calculé	F table		Observations (signification)
Totale	31	2.44		5%	1%	
Traitements	7	6.69	11.15	2.49	3.65	HS
N	1	30.87	51.29	4.32	8.02	HS
P	1	13.22	21.98	4.32	8.02	HS
K	1	0.65	1.09	4.32	8.02	NS
NP	1	0.01	0.02	4.32	8.02	NS
NK	1	1.72	2.87	4.32	8.02	NS
PK	1	0.01	0.02	4.32	8.02	NS
NPK	1	0.37	0.61	4.32	8.02	NS
Blocs	3	4.74	7.87	3.07	4.87	HS
Résiduelle	21	0.6				

212 – Comparaison des moyennes

Fumure	Nombre de moyennes	ppas	Libellés de facteur	Moyennes	Groupes homogènes
Azote	2	0.57	N1 No	9.34 7.38	a b
Phosphore	2	0.57	P1 Po	9 7.71	a b

22 - Nombre de talle par touffe 45 jours après le repiquage(06-04-04)

Tableau 29 : Nombre de talle par touffe 45 jours après le repiquage(06-04-04)

	R1	R2	R3	R4	Moyenne
- Témoïn	16	17	20	18	18
N	26	27	27	26	27
P	26	24	23	19	23
K	18	21	25	22	21
NP	31	33	30	32	32
NK	30	33	31	32	31
PK	19	26	27	25	24
NPK	34	36	38	32	35

212 - Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F calculé	F table		Observations (signification)
Totale	31	35.27		5%	1%	
Traitements	7	137.72	30.67	2.49	3.65	HS
N	1	722.	160.87	4.32	8.02	HS
P	1	136.13	30.33	4.32	8.02	HS
K	1	91.13	20.3	4.32	8.02	HS
NP	1	0.13	0.03	4.32	8.02	NS
NK	1	6.13	1.36	4.32	8.02	NS
PK	1	8	1.78	4.32	8.02	NS
NPK	1	0.5	0.11	4.32	8.02	NS
Blocs	3	11.75	2.62	3.07	4.87	NS
Résiduelle	21	4.49				

213 – Comparaison des moyennes

Fumure	Nombre de moyennes	ppas	Libellés de facteur	Moyennes	Groupes homogènes
Azote	2	1.56	N1	31.13	a
			No	21.63	b
Phosphore	2	1.56	P1	28.44	a
			Po	24.31	b
Potassium	2	1.56	K1	28.06	a
			Ko	24.69	b

23 – Nombre de talles par touffe à 76 jours après le repiquage (07-05-04)

Tableau 30 : Nombre de talles par touffe à 76 jours après le repiquage (07-05-04)

	R1	R2	R3	R4	Moyenne
- Témoïn	21	23	25	26	24
N	24	31	29	32	29
P	29	26	26	26	27
K	27	25	24	25	25
NP	32	33	34	33	33
NK	30	31	25	35	30
PK	27	25	32	29	28
NPK	34	35	31	35	34

231 - Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F calculé	F table		Observations (signification)
Totale	31	16.19		5%	1%	
Traitements	7	49.64	7.85	2.49	3.65	HS
N	1	242.	38.28	4.32	8.02	HS
P	1	91.12	14.42	4.32	8.02	HS

K	1	12.5	1.98	4.32	8.02	NS
NP	1	1.13	0.18	4.32	8.02	NS
NK	1	0.5	0.08	4.32	8.02	NS
PK	1	0.13	0.02	4.32	8.02	NS
NPK	1	0.12	0.02	4.32	8.02	NS
Blocs	3	7.25	1.15	3.07	4.87	NS
Résiduelle	21	6.32				

232 – Comparaison des moyennes

Fumure	Nombre de moyennes	ppas	Libellés de facteur	Moyennes	Groupes homogènes
Azote	2		N1 No	31.5 26	a b
Phosphore	2		P1 Po	30.44 27.06	a b

24 – Nombre de talles fertiles par touffe à la récolte (19-05-04)

Tableau 31 : Nombre de talles fertiles par touffe à la récolte (19-05-04)

	R1	R2	R3	R4	Moyenne
- Témoin	23	24	24	25	24
N	27	35	33	35	33
P	28	25	28	26	27
K	29	27	23	26	26
NP	33	36	36	37	36
NK	33	33	34	32	33
PK	29	31	29	30	30
NPK	38	40	35	41	38

241 - Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F calculé	F table		Observations (signification)
Totale	31	25.79		5%	1%	
Traitements	7	99.17	22.85	2.49	3.65	HS
N	1	536.28	123.35	4.32	8.02	HS
P	1	108.78	25.06	4.32	8.02	HS
K	1	38.28	8.82	4.32	8.02	HS
NP	1	2.53	0.58	4.32	8.02	NS
NK	1	1.53	0.35	4.32	8.02	NS
PK	1	5.28	1.22	4.32	8.02	NS
NPK	1	1.53	0.35	4.32	8.02	NS
Blocs	3	4.70	1.08	3.07	4.87	NS
Résiduelle	21	4.34				

242 – Comparaison des moyennes

Fumure	Nombre de moyennes	ppas	Libellés de facteur	Moyennes	Groupes homogènes
Azote	2	1.53	N1 No	34.88 26.69	a b
Phosphore	2	1.53	P1 Po	32.63 28.94	a b
Potassium	2	1.53	K1 Ko	31.88 29.69	a b

25 - Nombre de talles stériles par touffe à la récolte

Tableau 32 : Nombre de talles stériles par touffe à la récolte

R1	R2	R3	R4	Moyenne
----	----	----	----	---------

Témoin	7	2	3	7	5
N	3	1	4	6	4
P	3	3	1	0	2
K	8	4	0	7	5
NP	6	6	0	4	4
NK	9	3	2	6	5
PK	1	3	4	1	2
NPK	9	2	3	13	3

26 – Nombre de talles par touffe à différentes périodes de végétation

Tableau 33 : Nombre de talles par touffe à différentes périodes de végétation

Périodes	Témoin	N	P	K	NP	NK	PK	NPK
20-03-04	6	9	8	7	10	9	8	10
06-04-04	18	27	23	21	32	31	24	35
07-05-04	24	29	27	25	33	30	28	34
19-05-04	24	33	27	26	36	33	30	38

261 - Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F calculé	F table		Observations (signification)
Totale	31	99.02		5%	1%	
Traitements	7	61.42	14.56	2.49	3.65	HS
N	1	331.53	78.98	4.32	8.02	HS
P	1	81.28	19.36	4.32	8.02	HS
K	1	16.53	3.94	4.32	8.02	NS
NP	1	0.28	0.07	4.32	8.02	NS
NK	1	0.03	0.01	4.32	8.02	NS
PK	1	0.03	0.01	4.32	8.02	NS
NPK	1	0.28	0.07	4.32	8.02	NS
Blocs	3	850.53	202.61	3.07	4.87	HS
Résiduelle	21	4.20				

CV = 8.7%

262 – Comparaison des moyennes

Fumure	Nombre de moyennes	ppas	Libellés de facteur	Moyennes	Groupes homogènes
Azote	2	1.51	N1 No	26.81 20.38	a b
Phosphore	2	1.51	P1 Po	25.19 22	a b

- 3 - Test de la faculté de germination

Tableau 34 : Test de la faculté de germination

	R1	R2	R3	R4
Témoin	100	99	99	98
N	99	99	99	99
P	100	99	99	100
K	94	97	99	97
NP	99	100	97	96
NK	99	94	94	100

PK	98	100	99	96
NPK	97	97	99	100

31 - Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F calculé	F table		Observations (signification)
Totale	31	3.25		5%	1%	
Traitements	7	4.13	1.21	2.49	3.65	NS
N	1	1.13	0.33	4.32	8.02	NS
P	1	3.13	0.91	4.32	8.02	NS
K	1	15.13	4.42	4.32	8.02	S
NP	1	1.12	0.33	4.32	8.02	NS
NK	1	1.12	0.33	4.32	8.02	NS
PK	1	6.12	1.79	4.32	8.02	NS
NPK	1	1.13	0.33	4.32	8.02	NS
Blocs	3	0.04	0.01	3.07	4.87	NS
Résiduelle	21	3.42				

32 – Comparaison des moyennes

Fumure	Nombre de moyennes	ppas	Libellés de facteur	Moyennes	Groupes homogènes
Potassium	2	1.36	K1 Ko	98.88 97.5	a b

- 4 - Rendement en grain de paddy sec à 14 % d'humidité (t/ha)

Tableau 35 : Rendement en grain de paddy sec à 14 % d'humidité (t/ha)

	R1	R2	R3	R4	Moyen	Accroissement sur le témoin
Témoin	3,14	3,17	3,17	3,13	3.15	0
N	5,62	5,57	5,29	5,75	5.57	2.42
P	3,87	4,23	4,12	3,98	4.05	0.90
K	3,82	3,42	3,51	3,73	3.62	0.47
NP	6,54	6,64	6,95	6,43	6.64	3.49
NK	6,14	5,89	6,44	5,97	6.11	2.96
PK	4,97	4,51	4,71	4,69	4.72	1.57
NPK	6,91	7,67	6,97	7,81	7.34	4.19

41 - Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F calculé	F table		Observations (signification)
Totale	31	2.09		5%	1%	
Traitements	7	9.04	129.19	2.49	3.65	HS
N	1	51.04	784.04	4.32	8.02	HS
P	1	9.28	142.57	4.32	8.02	HS

K	1	2.86	43.94	4.32	8.02	HS
NP	1	0.05	0.75	4.32	8.02	NS
NK	1	0.01	0.11	4.32	8.02	NS
PK	1	0.06	0.95	4.32	8.02	NS
NPK	1	0	0.02	4.32	8.02	NS
Blocs	3	0.01	0.08	3.07	4.87	NS
Résiduelle	21	0.07				

CV =5%

42 – Comparaison des moyennes

Fumure	Nombre de moyennes	ppas	Libellés de facteur	Moyennes	Groupes homogènes
Azote	2	0.19	N1 No	6.41 3.89	a b
Phosphore	2	0.19	P1 Po	5.69 4.61	a b
Potassium	2	0.19	K1 Ko	5.45 4.85	a b

- 5 - Indice de récolte

Tableau 36 : Indice de récolte

	Paille (t/ha)	Grains (t/ha)	Grain + paille (t/ha)	Indice de récolte (%)
Témoin	1	3,15	4,15	75.9
N	1,26	5,57	6,83	81.55
P	2,35	4,05	6,4	63.28
K	2,12	3,62	5,74	63.07
NP	3,01	6,64	9,65	68.81
NK	2,76	6,11	8,87	68.88
PK	2,7	4,72	7,42	63.61
NPK	3,83	7,34	11,17	65.54

51 - Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F calculé	F table		Observations (signification)
Totale	31	10.06		5%	1%	
Traitements	7	36.87	17.9	2.49	3.65	HS
N	1	4.21	2.04	4.32	8.02	NS
P	1	8.99	4.37	4.32	8.02	S
K	1	36.21	17.61	4.32	8.02	HS
NP	1	85.35	4.5	4.32	8.02	S
NK	1	5.83	2.84	4.32	8.02	NS
PK	1	22.68	11.03	4.32	8.02	HS
NPK	1	94.81	46.1	4.32	8.02	HS
Blocs	3	3.59	1.74	3.07	4.87	NS
Résiduelle	21	2.06				

52 – Comparaison des moyennes

Fumure	Nombre de moyennes	ppas	Libellés de facteur	Moyennes	Groupes homogènes
Phosphore	2	1.05	P1 Po	66.35 65.29	a b
Potassium	2	1.05	K1 Ko	66.88 64.76	a b
N x P	2	1.49	No x Po	67.62	a
	3	1.81	N1 x P1	67.29	a
	4	2	N1 x Po	65.08	b
			No x P1	63.3	c
P x K	2	1.49	Po x Ko	68.26	a

	3	1.81	P l x Ko	65.51	b
	4	2	P l x K1	65.07	b
			P o x K1	64.44	b
N x Px K	2	2.11	NoxKoxPo	71.68	a
	3	2.55	N1xKoxP1	68.8	b
	4	2.83	N1xK1xP1	65.77	c
	5	3.02	N1xK1xPo	65.32	c
	6	3.17	N1xKoxPo	64.84	cd
	7	3.3	NoxK1xP1	64.37	cd
	8	3.40	NoxK1xPo	63.57	cd
			NoxKoxP1	62.22	d

- 6 - Rapport Paille / Grain

Tableau 37 : Rapport Paille / Grain

	R1	R2	R3	R4	Moyenne
Témoin	0,41	0,4	0,43	0,38	0,4
N	0,55	0,54	0,57	0,52	0,51
P	0,62	0,59	0,6	0,62	0,61
K	0,56	0,6	0,61	0,57	0,59
NP	0,46	0,50	0,41	0,45	0,46
NK	0,53	0,56	0,49	0,5	0,52
PK	0,52	0,65	0,54	0,55	0,57
NPK	0,54	0,5	0,55	0,49	0,52

61 - Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F calculé	F table		Observations (signification)
Totale	31	0.01		5%	1%	
Traitements	7	0.02	20	2.49	3.65	HS
N	1	0.01	6.7	4.32	8.02	S
P	1	0.001	5.07	4.32	8.02	S
K	1	0.02	17.35	4.32	8.02	HS
NP	1	0.04	39.74	4.32	8.02	HS
NK	1	0.01	5.59	4.32	8.02	S
PK	1	0.01	9.94	4.32	8.02	HS
NPK	1	0.05	51.91	4.32	8.02	HS
Blocs	3	0.001	1.50	3.07	4.87	NS
Résiduelle	21	0.001				

62 – Comparaison des moyennes

Fumure	Nombre de moyennes	ppas	Libellés de facteur	Moyennes	Groupes homogènes
Azote	2	0.02	N1	0.54	a
			No	0.51	b
Phosphore	2	0.02	P1	0.54	a
			Po	0.51	b
Potassium	2	0.02	K1	0.55	a
			Ko	0.5	b
N x P		0.03	No x P1	0.59	a

		0.04	N1 x Po	0.53	b
		0.04	No x Po	0.49	c
			N1 x P1	0.49	c
N x K		0.03	No x K1	0.58	a
		0.04	N1 x K1	0.52	b
		0.04	No x Ko	0.5	b
			N1 x Ko	0.5	b
P x K		0.03	Po x K1	0.55	a
		0.04	P1 x K1	0.54	a
		0.04	P1 x Ko	0.53	a
			Po x Ko	0.47	b
N x Px K		0.05	NoxKoxP1	0.61	a
		0.06	NoxK1x Po	0.59	ab
		0.06	NoxK1x P1	0.56	ab
		0.07	N1xKox Po	0.55	b
		0.07	N1xK1x P1	0.52	b
		0.07	N1xK1x Po	0.52	b
		0.07	N1xKox P1	0.45	c
			NoxKox Po	0.4	d

- **7 - Rapport Longueur / largeur des grains de paddy**

Tableau 38 : Rapport Longueur / largeur des grains de paddy

	R1	R2	R3	R4	Rapport moyen
Témoin	2,72	2,71	2,7	2,72	2,71
N	2,74	2,73	2,7	2,76	2,73
P	2,7	2,71	2,72	2,71	2,71
K	2,7	2,71	2,71	2,71	2,71
NP	2,72	2,71	2,72	2,71	2,72
NK	2,73	2,73	2,7	2,7	2,72
PK	2,73	2,71	2,7	2,7	2,71
NPK	2,73	2,71	2,7	2,7	2,71

Semences de départ 2.71

71 - Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F calculé	F table		Observations (signification)
Totale	31	0.02		5%	1%	
Traitements	7	0.19	0.59	2.49	3.65	NS
N	1	0.01	0.62	4.32	8.02	NS
P	1	0.01	0.71	4.32	8.02	NS
K	1	0.2	1.53	4.32	8.02	NS
NP	1	0.01	0.76	4.32	8.02	NS
NK	1	0.2	0.76	4.32	8.02	NS
PK	1	0.2	1.33	4.32	8.02	NS
NPK	1	0.2	1.33	4.32	8.02	NS
Blocs	3	0.2	1.26	3.07	4.87	NS
Résiduelle	21	0.2				

CV = 4.7%

- **8 - Nombre des panicules par touffe**

Tableau 39 : Nombre des panicules par touffe

	R1	R2	R4	Moyenne de panicules par touffe
Témoin	22	24	24	24
N	27	35	33	33

P	28	25	28	26	27
K	27	25	28	26	27
NP	31	33	37	33	34
NK	30	31	25	35	30
PK	27	24	52	29	33
NPK	34	35	31	36	34

81 - Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F calculé	F table		Observations (signification)
Totale	31	18.31		5%	1%	
Traitements	7	55.78	7.68	2.49	3.65	HS
N	1	318.78	43.92	4.32	8.02	HS
P	1	42.78	5.89	4.32	8.02	S
K	1	2.53	0.35	4.32	8.02	NS
NP	1	0.03	0	4.32	8.02	NS
NK	1	16.53	2.28	4.32	8.02	NS
PK	1	0.78	0.11	4.32	8.02	NS
NPK	1	9.03	1.24	4.32	8.02	NS
Blocs	3	8.28	0.14	3.07	4.87	NS
Résiduelle	21	7.26				

82 – Comparaison des moyennes

Fumure	Nombre de moyennes	ppas	Libellés de facteur	Moyennes	Groupes homogènes
Azote	2	1.98	N1 No	32.56 26.25	a b
Phosphore	2	1.98	P1 Po	30.56 28.25	a b

- 9 - Nombre de grains vides sur 12 panicules centrales d'échantillon

Tableau 40 : Nombre de grains vides sur 12 panicules centrales d'échantillon

	R1	R2	R3	R4	Moyenne
Témoin	93	95	90	96	94
N	106	110	109	108	108
P	86	81	82	80	82
K	81	88	90	86	86
NP	100	99	90	89	95
NK	110	103	107	111	108
PK	69	70	63	60	66
NPK	95	97	100	90	96

- 10 - Nombre de grains pleins sur les 12 panicules centrales d'échantillon

Tableau 41 : Nombre de grains pleins sur les 12 panicules centrales d'échantillon

	R1	R2	R3	R4	Moyenne
--	----	----	----	----	---------

Témoin	739	764	799	741	761
N	1036	1073	999	1000	1027
P	900	889	890	910	897
K	888	870	891	880	882
NP	1280	1283	1288	1285	1284
NK	1130	1105	1120	1149	1126
PK	990	920	980	977	967
NPK	1394	1396	1389	1399	1395
-					

- **11 - Poids en gramme de grains pleins sur 12 panicules d'échantillon**

Tableau 42 : Poids en gramme de grains pleins sur 12 panicules d'échantillon

	R1	R2	R3	R4	Moyenne
Témoin	14,78	15,28	15,98	12,82	14,725
N	22,46	22,8	21,23	21,25	21,925
P	18,9	18,67	18,69	19,11	18,85
K	18,65	18,27	18,71	18,48	18,525
NP	27,2	27,26	27,37	27,3	27,25
NK	23,95	23,51	23,74	24,36	23,9
PK	20,79	19,32	20,58	20,52	20,3
NPK	29,62	29,54	29,52	29,73	29,5

- **12 - Nombre de grains vides des panicules restantes de toutes les 12 touffes échantillons**

Tableau 43 : Nombre de grains vides des panicules restantes de toutes les 12 touffes échantillons

	R1	R2	R3	R4	Moyenne
Témoin	2015	2193	2070	2312	2148
N	2800	3740	3506	3663	3427
P	2286	1964	2214	1980	2111
K	2086	2112	2062	2078	2085
NP	3141	3151	2940	2840	3018
NK	3217	3051	3343	3754	3341
PK	2415	1645	1501	1680	1810
NPK	3103	3330	2958	3717	3277

- **13 - Poids de 1000 grains ajustés à 14 % d'humidité**

Tableau 44 : Poids de 1000 grains ajustés à 14 % d'humidité

	R1	R2	R3	R4	Moyenne	Semences de départ 21
Témoin	21,7	21,82	22,15	22,17	21,96	
N	21,64	22,1	20,73	21,75	21,555	
P	21,69	21,79	22,49	20,83	21,7	
K	22,13	21,35	20,63	21,34	21,363	
NP	22,01	21,57	21,9	21,55	21,758	
NK	20,79	21,46	21,29	21,6	21,285	
PK	21,46	21,39	20,17	22,29	21,328	

NPK 22,9 19,99 20,67 23,34 21,725

131 - Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F calculé	F table		Observations (signification)
Totale	31	0.53		5%	1%	
Traitements	7	0.23	0.39	2.49	3.65	NS
N	1	0	0	4.32	8.02	NS
P	1	0.06	0.10	4.32	8.02	NS
K	1	0.81	1.34	4.32	8.02	NB
NP	1	0.44	0.73	4.32	8.02	NS
NK	1	0.22	0.37	4.32	8.02	NS
PK	1	0.11	0.18	4.32	8.02	NS
NPK	1	0	0	4.32	8.02	NS
Blocs	3	0.67	1.11	3.07	4.87	NS
Résiduelle	21	0.60				

- 14 - Production de matière sèche

141 - Perte de poids en gramme des touffes lors du séchage à l'étuve à 75 ° C

Tableau 45 : Temps de séchage en heure)

Temps de pesage (H)	Témoin	N	P	K	NP	NK	PK	NPK
0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	11,41	0,08	4,3	2,59	6,23	10,39	5,94	6,23
4	14,14	1,73	8,81	3,7	14,14	18,97	12,1	14,14
6	17,85	3,03	13,94	3,71	18,77	27,24	17,6	18,17
8	20,13	4,14	16,8	4,05	22,36	35,14	20,48	22,36
10	21,33	5,16	19,03	4,27	25,26	40,1	21,51	25,26
12	21,87	6,32	20,06	4,45	27,42	43,15	22,15	27,42
14	22,06	7,24	20,8	5,05	28,64	44,3	22,86	28,64
16	22,06	7,7	21,73	5,7	29,84	44,78	23,52	29,84
18	22,06	7,98	21,73	5,7	30,62	45,03	23,52	30,62
20	22,06	7,98	21,73	5,7	30,62	45,03	23,52	30,82

142 - Rendements en t/ha de matière sèche à 50 jours après le repiquage

Tableau 46 : Rendements en t/ha de matière sèche à 50 jours après le repiquage

	R1	R2	R3	R4	moyenne
Témoin	1.53	1.45	1.95	1.89	1.71
N	2.66	3.08	3.26	3.1	3.03
P	2.07	1.69	2.04	1.85	1.91
K	1.31	2..01	1.55	1.61	1.62
NP	2.72	2.97	3.22	3.70	3.15
NK	2.95	3.30	3..01	3.52	3.12
PK	2.14	1.96	2.71	2.88	2.42
NPK	2.73	2.52	2.81	3.10	2.79

143 - Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F calculé	F table		Observations (signification)
Totale	31	0.46		5%	1%	
Traitements	7	1.59	14.43	2.49	3.65	HS
N	1	8.96	81.93	4.32	8.02	HS

P	1	0.65	5.92	4.32	8.02	S
K	1	0.0022	0.02	4.32	8.02	NS
NP	1	0.20	1.83	4.32	8.02	NS
NK	1	0.02	0.15	4.32	8.02	NS
PK	1	0.01	0.09	4.32	8.02	NS
NPK	1	1.27	11.6	4.32	8.02	HS
Blocs	3	0.32	2.92	3.07	4.87	NS
Résiduelle	21	0.11				

144 - Comparaison des moyennes

Fumure	Nombre de moyennes	ppas	Libellés de facteur	Moyennes	Groupes homogènes
Azote	2	0.24	N1 No	3.01 1.95	a b
Phosphore	2	0.24	P1 Po	2.62 2.3	a b

- 15 - Rendement en paille sèche en t / ha au moment de la récolte

Tableau 47 : Rendement en paille sèche en t / ha au moment de la récolte

	R1	R2	R3	R4	Moyenne
	1,197	1,282	1,367	1,197	1,26
N	3,077	2,991	2,991	2,991	3,01
P	2,393	2,479	2,479	2,479	2,46
K	2,137	2,051	2,137	2,137	2,12
NP	2,991	3,333	2,821	2,906	3,01
NK	3,248	3,333	3,162	2,991	3,18
PK	2,564	2,906	2,564	2,564	2,65
NPK	3,761	3,846	3,846	3,846	3,82

151 - Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F calculé	F table		Observations (signification)
Totale	31	0.45		5%	1%	
Traitements	7	1.71	24.36	2.49	3.65	HS
N	1	10.85	164.24	4.32	8.02	HS
P	1	0.16	2.48	4.32	8.02	NS
K	1	0.0035	0.05	4.32	8.02	NS
NP	1	0.48	7.23	4.32	8.02	S
NK	1	0.11	1.65	4.32	8.02	NS
PK	1	0.0042	0.06	4.32	8.02	NS
NPK	1	0.33	5	4.32	8.02	S
Blocs	3	0.22	3.27	3.07	4.87	S
Résiduelle	21	0.07				

152 – Comparaison des moyennes

Fumure	Nombre de moyennes	ppas	Libellés de facteur	Moyennes	Groupes homogènes
Azote	2	0.19	N1 No	3.02 1.86	a b
N x P	2	0.27	N1 x Po	3.07	a
	3	0.32	N1 x P1	2.97	b
	4	0.36	No x P1	2.05	c
			No x Po	1.66	d
N x Px K	2	0.38	N1xKoxP1	3.15	a

	3	0.46	N1xK1x Po	3.12	a
	4	0.51	N1xK0x Po	3.03	a
	5	0.54	N1xK1x P1	2.79	a
	6	0.57	NoxK1x P1	2.19	b
	7	0.59	NoxK0x P1	1.91	bc
		0.61	NoxK0x Po	1.71	c
			NoxK1x Po	1.62	c

- **16 - Rendement en matière sèche totale (grains secs + paille sèche)**

Tableau 48 : Rendement en matière sèche totale (grains secs + paille sèche)

	R1	R2	R3	R4
Témoin	4.34	4.45	4.54	4.33
N	8.7	8.56	8.28	8.74
P	6.26	6.71	6.6	6.46
K	5.96	5.47	5.65	5.87
NP	9.53	9.97	9.77	9.34
NK	9.39	9.22	9.60	8.96
PK	7.53	7.42	7.27	7.25
NPK	103.67	11.52	10.82	11.66

- **16-1 - Analyse de la variance**

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F calculé	F table		Observations (signification)
Totale	31	4.59		5%	1%	
Traitements	7	20.08	251.06	2.49	3.65	HS
N	1	107.38	1419.86	4.32	8.02	HS
P	1	22.31	295.0	4.32	8.02	HS
K	1	9.77	129.16	4.32	8.02	HS
NP	1	0.29	3.87	4.32	8.02	NS
NK	1	0.002	0.02	4.32	8.02	NS
PK	1	0.05	0.72	4.32	8.02	NS
NPK	1	0.79	10.41	4.32	8.02	HS
Blocs	3	0.02	0.29	3.07	4.87	NS
Résiduelle	21	0.08				

- **16-2 - Comparaison des moyennes**

Fumure	Nombre de moyennes	ppas	Libellés de facteur	Moyennes	Groupes homogènes
Azote	2	0.20	N1	9.67	a
			No	6.01	b
Phosphore	2	0.20	P1	8.67	a
			P2	7.00	b
Potassium	2	0.20	K1	8.39	a
			K2	7.29	b
N x Px K	2	0.4	N1xK1xP0	11.17	a
	3	0.49	N1xK0x P1	9.65	b
	4	0.54	N1xK1x P1	9.29	b
	5	0.58	N1xK0x P0	8.57	c
	6	0.61	N0xK0x P0	7.37	d
	7	0.63	N0xK0x P1	6.51	e
	8	0.65	N0xK1x P0	5.74	f

- **17 : Indice de surface foliaire**

Tableau 49 : Indice de surface foliaire

	R1	R2	R3	R4	Moyenne	
Témoin		3,12	3,44	3,55	3,41	3,38
N		4,86	4,3	4,44	4,45	4,51
P		5,1	5,69	5,3	5,09	5,3
K		4,6	4,65	4,6	4,6	4,61

NP	4,6	4,65	4,84	5,36	4,86
NK	4,72	4,58	4,59	4,3	4,55
PK	4,57	4,89	5,13	5,2	4,95
NPK	4,3	4,25	4,65	5,2	4,6

17 – 1 : Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F calculé	F table		Observations (signification)
Totale	31	0.18		5%	1%	
Traitements	7	0.59	9.98	2.49	3.65	HS
N	1	2.03	33.48	4.32	8.02	HS
P	1	0.11	1.82	4.32	8.02	NS
K	1	1.20	19.81	4.32	8.02	HS
NP	1	0.004	0.06	4.32	8.02	NS
NK	1	0.24	3.98	4.32	8.02	NS
PK	1	0.02	0.30	4.32	8.02	NS
NPK	1	0.55	9	4.32	8.02	HS
Blocs	3	0.03	0.46	3.07	4.87	NS
Résiduelle	21	0.06				

17 – 2 : Comparaison des moyennes

Fumure	Nombre de moyennes	ppas	Libellés de facteur	Moyennes	Groupes homogènes
Azote	2	0.18	No N1	5.06 4.56	a b
Potassium	2	0.18	Ko K1	5 4.61	a b
N x Px K	2	0.36	NoxKoxPo	5.39	a
	3	0.44	NoxKox P1	5.30	ab
	4	0.49	NoxK1x P1	4.95	bc
	5	0.52	N1xKox P1	4.88	bc
	6	0.54	NoxK1x Po	4.61	bc
	7	0.57	N1xK1x Po	4.55	cd
		0.58	N1xKox Po N1xK1x P1	4.45 4.35	cd cd

ANALYSE DES VEGETAUX

- 1- Résultats des analyses au laboratoire Absorption des éléments N P K par la plante

11- Teneurs totales en éléments majeurs N P K des feuilles

111- Dans les feuilles à 50 jours après le repiquage

Tableau 50: Teneurs en Azote (en % de matière sèche)

	R1	R2	R3	R4	Moyenne	Ecart-type
Témoin	2,12	1,88	1,78	2	1,945	0,15
N	2,87	2,58	1,78	2,01	2,31	0,5
P	2,75	1,53	2,48	1,48	2,06	0,65
K	2,73	2,38	1,99	2,15	2,313	0,32
NP	3,27	2,5	3,96	2,51	3,06	0,7
NK	1,27	3,15	2,19	1,91	2,13	0,78
PK	1,75	1,39	1,99	1,44	1,643	0,28
NPK	1,66	1,7	1,68	1,99	1,758	0,23

1111 : Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F calculé	F table		Observations (signification)
Totale	31	0.37		5%	1%	
Traitements	7	0.64	2.46	2.49	3.65	NS
N	1	0.85	3.29	4.32	8.02	NS
P	1	0.02	0.06	4.32	8.02	NS
K	1	1.08	4.15	4.32	8.02	S
NP	1	0.43	1.68	4.32	8.02	NS
NK	1	1.03	4.01	4.32	8.02	NS
PK	1	1.01	3.88	4.32	8.02	NS
NPK	1	0.06	0.22	4.32	8.02	NS
Blocs	3	0.20	0.79	3.07	4.87	NS
Résiduelle	21	0.26				

CV = 23.6%

1112 – Comparaison des moyennes

Fumure	Nombre de moyennes	ppas	Libellés de facteur	Moyennes	Groupes homogènes
Potassium	2	0.37	K1 Ko	2.34 1.96	a b
P x K	2 3 4	0.53 0.64 0.71	P 1 x Ko Po x K1 Po x Ko P1 x K1	2.56 2.22 2.13 1.7	a ab ab b

Tableau 51 : Teneur en phosphore en % de matière sèche

	R1	R2	R3	R4	Moyenne	Ecart-type
Témoin	0,15	0,21	0,24	0,23	0,208	0,04
N	0,13	0,19	0,12	0,22	0,165	0,05
P	0,19	0,2	0,21	0,27	0,218	0,04
K	0,19	0,31	0,24	0,3	0,26	0,06
NP	0,27	0,2	0,21	0,28	0,24	0,04
NK	0,13	0,12	0,19	0,27	0,178	0,07
PK	0,33	0,22	0,21	0,25	0,253	0,05
NPK	0,21	0,19	0,22	0,27	0,223	0,03

1113 - Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F calculé	F table		Observations (signification)
Totale	31			5%	1%	
Traitements	7	0.003	1.71	2.49	3.65	NS
N	1	0.001	0.5	4.32	8.02	NS
P	1	0.003	1.5	4.32	8.02	NS
K	1	0.004	2	4.32	8.02	NS
NP	1	0.008	4	4.32	8.02	NS
NK	1	0.005	2.5	4.32	8.02	NS
PK	1	0.002	1	4.32	8.02	NS
NPK	1	0.001	0.5	4.32	8.02	NS
Blocs	3	0.008	4	3.07	4.87	S
Résiduelle	21	0.002				

CV = 19.1%³**1114 – Comparaison des moyennes**

Fumure	Nombre de moyennes	ppas	Libellés de facteur	Moyennes	Groupes homogènes
Azote	2	0.03	No N1	0.23 0.20	a b
Phosphore	2	0.03	Po P1	0.23 0.20	a b

Tableau 52 : Potassium en % de matière sèche

	R1	R2	R3	R4	Moyenne	Ecart-type
Témoin	1,8	1,7	1,75	1,9	1,79	0,09
N	2,05	1,95	2,4	1,85	2,06	0,24
P	1,7	2,25	2,05	1,65	1,91	0,29
K	1,89	1,5	1,45	2,25	1,77	0,37
NP	2,05	1,6	1,95	2,3	1,98	0,29
NK	2,4	2,2	2,25	2,55	2,35	0,16
PK	2,15	1,7	2,5	2,25	2,15	0,33
NPK	1,95	2,35	1,6	2,55	2,11	0,42

1115 - Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F calculé	F table		Observations (signification)
Totale	31	0.10		5%	1%	
Traitements	7	0.14	1.56	2.49	3.65	NS
N	1	0.3	3.33	4.32	8.02	NS
P	1	0.02	0.19	4.32	8.02	NS
K	1	0.21	2.47	4.32	8.02	NS
NP	1	0.34	4.03	4.32	8.02	NS
NK	1	0.02	0.24	4.32	8.02	NS
PK	1	0.01	0.06	4.32	8.02	NS
NPK	1	0.08	0.95	4.32	8.02	NS
Blocs	3	0.09	1.08	3.07	4.87	NS
Résiduelle	21	0.09				

CV = 14.5%

1116 – Comparaison des moyennes

Fumure	Nombre de moyennes	ppas	Libellés de facteur	Moyennes	Groupes homogènes
Azote	2	0.21	N1 No	2.13 1.91	a b

112 – Dans les feuilles paniculaires au moment de la floraison

Tableau 53 : Azote en % de matière sèche

	R1	R2	R3	R4	Moyenne	Ecart-type
Témoin	2,44	2,17	1,74	2,44	2,198	0,33
N	2,67	2,21	2,08	2,13	2,273	0,27
P	1,62	1,71	1,81	1,66	1,7	0,08
K	2,64	2,36	2,31	2,12	2,358	0,21
NP	2,18	2,32	2,02	2,28	2,2	0,13
NK	2,15	2,62	2,32	2,17	2,315	0,22
PK	1,68	1,57	1,74	1,8	1,698	0,1
NPK	2,9	2,75	,9	2,96	2,883	0,1

1121 - Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F calculé	F table		Observations (signification)
Totale	31	0.15		5%	1%	
Traitements	7	0.42	7	2.49	3.65	HS
N	1	1.09	16.92	4.32	8.02	HS
P	1	0.04	0.55	4.32	8.02	NS
K	1	0.20	3.04	4.32	8.02	NS
NP	1	0.79	12.25	4.32	8.02	HS
NK	1	0.34	5.29	4.32	8.02	S
PK	1	0.07	1.09	4.32	8.02	NS
NPK	1	0.41	6.37	4.32	8.02	S
Blocs	3	0.13	1.96	3.07	4.87	NS
Résiduelle	21	0.06				

1122 – Comparaison des moyennes

Fumure	Nombre de moyennes	ppas	Libellés de facteur	Moyennes	Groupes homogènes
Azote	2	0.19	N1 No	2.41 2.05	a b
N x P	2	0.26	N1 x P1	2.54	a
	3	0.32	N1 x Po	2.29	a
	4	0.35	No x Po	2.24	a
			No x P1	1.86	b
N x K	2	0.26	N1 x K1	2.6	a
	3	0.32	N1 x Ko	2.24	b

	4	0.35	No x Ko No x Kl	2.07 2.02	b b
N x Px K			N1xK1x P1 N1xK1x Po NoxK1x Po N1xKox Po N1xKox P1 NoxKox Po NoxKox P1 NoxK1x P1	2.88 2.32 2.28 2.27 2.20 2.20 1.95 1.77	a b b b b b b b

Tableau 54 : Teneur en phosphore dans les feuilles paniculaires

	R1	R2	R3	R4	Moyenne	Ecart-type
Témoin	0,15	0,17	0,16	0,17	0,163	0,01
N	0,2	0,2	0,2	0,23	0,208	0,02
P	0,13	0,22	0,13	0,2	0,17	0,05
K	0,25	0,31	0,23	0,29	0,27	0,04
NP	0,27	0,28	0,25	0,31	0,278	0,03
NK	0,25	0,25	0,3	0,27	0,268	0,02
PK	0,17	0,17	0,17	0,2	0,178	0,02
NPK	0,36	0,33	0,3	0,35	0,335	0,03

1123 – Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F calculé	F table		Observations (signification)
Totale	31	0		5%	1%	
Traitements	7	0.285	71.34	2.49	3.65	HS
N	1	0.31	77.45	4.32	8.02	HS
P	1	0.07	17.06	4.32	8.02	HS
K	1	0.18	45.23	4.32	8.02	HS
NP	1	1.17	41.65	4.32	8.02	HS
NK	1	0.018	4.41	4.32	8.02	S
PK	1	0.14	25.99	4.32	8.02	HS
NPK	1	0.11	28.46	4.32	8.02	HS
Blocs	3	0.008	2.18	3.07	4.87	NS
Résiduelle	21	0.004				

1124 – Comparaison des moyennes

Fumure	Nombre de moyennes	ppas	Libellés de facteur	Moyennes	Groupes homogènes
Azote	2	0.01	N1	0.27	a
			No	0.21	b
Phosphore	2	0.01	P1	0.25	a
			Po	0.22	b
Potassium	2	0.01	K1	0.26	a
			Ko	0.21	b

N x P	2	0.02	N1 x P1	0.31	a
	3	0.03	N1 x Po	0.23	b
	4	0.03	No x Po	0.22	bc
			No x P1	0.2	c
N x K	2	0.02	N1 x K1	0.30	a
	3	0.03	N1 x Ko	0.24	b
	4	0.03	No x K1	0.22	b
			No x Ko	0.19	c
P x K	2	0.02	Po x K1	0.27	a
	3	0.03	P1 x K1	0.26	a
	4	0.03	P1 x Ko	0.25	a
			Po x Ko	0.18	b
N x Px K	2	0.03	N1x K1x P1	0.34	a
	3	0.04	N1x Kox P1	0.27	b
	4	0.04	Nox K1x Po	0.27	b
	5	0.04	N1x K1x Po	0.26	b
	6	0.04	Nox Kox P1	0.22	c
	7	0.05	N1x Kox Po	0.2	cd
	8	0.05	Nox K1x P1	0.18	de
			Nox Kox Po	0.16	e

113 –Teneurs en éléments N, P, K dans les grains

Tableau 55 : Azote en % de matière sèche

	R1	R2	R3	R4
Témoin	1,18	0,93	1,26	0,39
N	1,27	1,33	1,28	1,29
P	0,9	0,98	0,78	0,92
K	0,53	0,66	0,37	0,45
NP	0,98	1,1	0,93	1,21
NK	0,92	0,86	1,01	0,88
PK	0,64	0,68	0,7	0,65
NPK	1,37	1,46	1,3	1,38

1131 - Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F calculé	F table		Observations (signification)
Totale	31	0.10		5%	1%	
Traitements	7	0.035	8.72	2.49	3.65	HS
N	1	1.64	42.58	4.32	8.02	HS
P	1	0.02	0.6	4.32	8.02	NS
K	1	0.18	4.56	4.32	8.02	S
NP	1	0.0004	0.01	4.32	8.02	NS
NK	1	0.28	7.16	4.32	8.02	S
PK	1	0.27	7.03	4.32	8.02	S
NPK	1	0.05	1.28	4.32	8.02	NS
Blocs	3	0.002	0.04	3.07	4.87	NS
Résiduelle	21	0.04				

1132 – Comparaison des moyennes

Fumure	Nombre de moyennes	ppas	Libellés de facteur	Moyennes	Groupes homogènes
Azote	2	0.14	N1	1.20	a
			No	0.75	b
Potassium	2	0.14	K1	1.05	a
			Ko	0.90	b
N x K	2	0.2	N1 x K1	1.22	a

	3	0.25	N1 x Ko	1.19	a
	4	0.27	No x Ko	0.92	b
			No x K1	0.58	c
P x K			Po x Ko	1.12	a
			P1 x K1	1.02	ab
			P1 x Ko	0.99	ab
			Po x K1	0.78	b

Tableau 56 : Phosphore en % de matière sèche

	R1	R2	R3	R4	Moyenne	Ecart-type
Témoin	0,35	0,32	0,34	0,31	0,33	0,02
N	0,35	0,34	0,35	0,35	0,35	0,01
P	0,35	0,38	0,32	0,37	0,36	0,03
K	0,29	0,33	0,36	0,39	0,34	0,04
NP	0,26	0,28	0,25	0,31	0,28	0,03
NK	0,25	0,25	0,29	0,27	0,27	0,02
PK	0,17	0,17	0,17	0,2	0,18	0,02
NPK	0,36	0,34	0,3	0,35	0,34	0,02

1133 - Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F Calculé	F Table		Observations (signification)
Totale	31	0		5%	1%	
Traitements	7	0.002	0.89	2.49	3.65	NS
N	1	0.004	1.75	4.32	8.02	NS
P	1	0.0006	0.3	4.32	8.02	NS
K	1	0.0004	0.19	4.32	8.02	NS
NP	1	0.005	2.73	4.32	8.02	NS
NK	1	0.0015	0.73	4.32	8.02	NS
PK	1	0.0005	0.24	4.32	8.02	NS
NPK	1	0.0004	0.18	4.32	8.02	NS
Blocs	3	0.003	1.54	3.07	4.87	NS
Résiduelle	21	0.002				

Tableau 57 : Teneur en potassium en % de matière sèche

	R1	R2	R3	R4	Moyenne	Ecart-type
Témoin	0,3	0,37	0,3	0,29	0,315	0,04
N	0,3	0,33	0,29	0,33	0,313	0,02
P	0,31	0,32	0,3	0,28	0,303	0,02
K	0,3	0,31	0,32	0,33	0,315	0,01
NP	0,28	0,32	0,34	0,3	0,31	0,03
NK	0,28	0,33	0,3	0,3	0,303	0,03
PK	0,31	0,32	0,33	0,3	0,315	0,01
NPK	0,36	0,37	0,35	0,37	0,363	0,01

1134 - Analyse de la variance

Source de variance	Degré de liberté	Carré moyen	F Calculé	F Table		Observations (signification)
Totale	31	0		5%	1%	
Traitements	7	0.13	4.24	2.49	3.65	HS
N	1	0.006	2.01	4.32	8.02	NS
P	1	0.008	2.69	4.32	8.02	NS
K	1	0.014	4.7	4.32	8.02	S
NP	1	0.02	7.15	4.32	8.02	S

NK	1	0.013	4.42	4.32	8.02	S
PK	1	0.023	7.63	4.32	8.02	S
NPK	1	0.005	1.66	4.32	8.02	NS
Blocs	3	0.008	2.78	3.07	4.87	NS
Résiduelle	21	0.003				

1135 – Comparaison des moyennes

Fumure	Nombre de moyennes	ppas	Libellés de facteur	Moyennes	Groupes homogènes
Potassium	2	0.01	K1 Ko	0.33 0.31	a b
N x P	2	0.02	N1 x P1	0.34	a
	3	0.02	No x Po	0.32	b
	4	0.02	No x P1	0.31	b
			N1 x Po	0.31	b
N x K	2	0.02	N1 x K1	0.34	a
	3	0.02	No x K1	0.32	b
	4	0.02	No x Ko	0.32	b
			N1 x Ko	0.31	b
P x K	2	0.02	P1 x K1	0.34	a
	3	0.02	Po x Ko	0.32	b
	4	0.02	Po x K1	0.31	b
			P1 x Ko	0.31	b

EQUILIBRE NUTRITIONNEL DANS LES FEUILLES

Afin de déterminer l'équilibrer nutritif NPK correspondant aux rendements les meilleurs, il a été procédé de la manière suivante :

- on détermine l'alimentation globale S qui est égale à la somme des pourcentages dans les feuilles, d'azote, de phosphore et de potassium ($S = N + P + K$)
- on calcule ensuite le pourcentage de chacun des trois éléments N,P,K par rapport à cette somme en faisant :
- on divise la teneur de chaque élément N, P et K dans les feuilles par la somme S, en multipliant par 100, pour avoir le pourcentage de chaque élément dans l'alimentation globale ;
 $N * 100 / \text{Somme NPK}$; $P * 100 / \text{Somme NPK}$; $K * 100 / \text{Somme NPK}$
- on porte chacun des trois chiffres obtenus, dont le total est égal à 100, sur des coordonnées trilinéaires, chacun des côté du triangle correspondant respectivement aux pourcentages d'azote, de potassium et de phosphore.

CONCENTRATIONS CRITIQUES DE DEFICIENCE ET DE TOXICITE DES DIFFERENTS ELEMENTS DANS LA PLANTE DE RIZ

Concentrations critiques de déficience et de toxicité des différents éléments dans la plante de riz (Tanaka et Yoshida, 1970)

Élément	Déficience (D) ou Toxicité (T)	Concentration ou teneur	Partie analysée	Stade de développement
N	D	2,5%	Feuille (limbe)	Tallage
P	D	0,1%	Feuille (limbe)	Tallage
K	D	1,0%	Paille	Maturité
	D	1,0%	Feuille (limbe)	Tallage

ANNEXE 6

ANALYSE DU SOL

- **1 Description d'un profil**

Le jugement d'un sol nécessite l'observation de son profil, qui est caractérisé par une succession de couches ou horizons dont la désignation a fait l'objet d'une nomenclature internationale

Les données intéressant la description d'un sol sont nombreuses :

11- Données générales

- Numéro de profil
- Localisation
- Date
- Observateur
- Conditions atmosphériques

12- Données concernant le profil

- Mission et n° de profil
- Végétation ou culture : formation végétale, espèces dominantes, recouvrement du sol , restitution au sol
- Roche mère: nature, cristallisation, pendage, mode d'altération, remaniement
- Géomorphologie: forme du modèle, position dans le modèle, évolution
- Altitude
- Relief :
 - . accidenté : pente > 25 %
 - . ondulé : 8% < pente < 25%
 - . largement ondulé, grandes surfaces planes : 8% < pente < 25%
 - . plan : pente < 8%
- Pente [classement United States Departement of Agriculture (USDA)]
 - . nulle : 0 à 2%
 - . faible : 2 à 6%
 - . moyenne : 6 à 13 %
 - . assez forte : 13 à 25 %
 - . forte : 25 à 56 %
 - . très forte : > 56 %
- Drainage
 - . drainage externe
 - . perméabilité
 - . drainage interne, fonction de : texture, structure , stratification, nappe phréatique
- Inondation
- Présence de pierre (de diamètre supérieur à 15 ou 20 cm)
- Affleurement rocheux
- Erosion : éolienne, hydrique par battement, en nappe ravinante, en rigoles, en ravins, par mouvements de nappe, par chenaux souterrains

13 - Limite des horizons

- Netteté :
 - . transition brutale : sur moins de 2,5 cm
 - . transition distincte : de 2,5 à 6 cm
 - . transition graduelle : de 6 à 12,5 cm
 - . transition diffuse : sur plus de 12,5 cm

Régulière	Ondulée	Irrégulière
Parallèle à surface	Poche plus large que profonde	Poche plus profondes que large

14- Données concernant les horizons

- Epaisseur : en cm à partir de la surface
- Couleur :
 - Détermination chiffrée par un Code (Munsell Soil Color Chart) (terme de couleur + notation Munsell)
 - Notation des contrastes : du % des taches par rapport à la surface observée et de la dimension du diamètre moyen des taches

- Teneur en matière organique
- Teneur en calcaire
- Texture
- Structure
- Porosité
- Consistance : préciser si l'évaluation est faite : à sec, par sol humide ou par sol trempé
- Cimentation
- Enracinement
- Formations spéciales
- pH

- 2 - Echantillonnage sur le terrain et préparation des échantillons au laboratoire

21- Méthode :

Il s'agit d'une méthode générale d'échantillonnage des sols en vue d'analyses destinées à une interprétation agronomique afin d'évaluer certains paramètres de la fertilité.

22-Principe :

Le principe réside donc dans l'exécution d'un certain nombre de prélèvements élémentaires dans une zone présumée homogène et une couche d'épaisseur choisie et profondeur donnée, puis constitution, par mélange et réduction d'un échantillon pour laboratoire représentatif du niveau moyen d'une ou plusieurs caractéristiques données du sol.

23-Matériel

- bêche (ou angady), pioche, pelle
- couteau de pédologue ou grand couteau à lame rigide en acier inoxydable ou couteau type Opinel
- tarière à main ou sonde
- un ou plusieurs seaux d'au moins 10 l
- label d'identification
- sachet plastique solide de dimension plus ou moins 20-25 x 30-35 cm
- bâche sèche et propre d'environ 2m²
- marqueurs à encre indélébile (pour écriture sur sacs)
- stylos bille et étiquettes dont le modèle est le suivant :

Lieu.....
 parcelle :.....
 date :.....
 profil :.....n°.....
 horizon :.....type.....
 profondeur :..... cm
 remarque :.....
 opérateur :.....
 n° d'ordre :.....

24- Technique de prélèvement

- Observation du terrain et détermination globale du périmètre
- Connaissance du type de sol là où l'on veut implanter la culture
- Choix du milieu ou le champ à utiliser pour avoir la représentativité
- Identification et délimitation des zones de prélèvement homogène : même couleur de sol, même comportement physique, même histoire culturale (précédents culturaux et fertilisation), en subdivisant le terrain en plusieurs portions selon la pente, la texture, la structure et le drainage, donc en blocs homogènes et uniformes. Chaque bloc doit être installé dans un même type de sol
- Détermination des unités d'échantillonnage dans une zone de prélèvement et le mode d'échantillonnage de ces unités: chaque zone de prélèvement est divisée en N unités d'échantillonnage et la répartition des prélèvements peut se faire d'une manière aléatoire (choisir au hasard des points sur le sol de chaque zone ou bloc), par quadrillage, en diagonale ou en zigzag (Pauwels et al, 1992).
- Notation dans le carnet de terrain

25- Préparation des échantillons au laboratoire

251- Principe

La préparation d'un échantillon de sol est nécessaire pour le représentatif à l'analyse Elle comprend:

- l'émiettement des mottes ;
- le séchage ;

- la réduction des agrégats ;
- la séparation de la terre fine par tamisage.

Après la vérification obligatoire de la conformité avec les fiches accompagnantes des numérotations < terrains > sur sachets et avant la préparation proprement dite de l'échantillon de sol, ce dernier doit être inscrit dans le registre d'identification qui sera utilisé lors de toutes les analyses.

L'échantillon séché à l'air, à l'abri du soleil, pesé puis passé au tamis à trous ronds de 2 mm. Le refus, lavé, séché et pesé constitue " les éléments grossiers ".

Ce qui passe constitue " la terre fine " ou " les éléments fins ". Ces deux fractions sont exprimées en pourcentage (%) de l'échantillon et déterminent aussi la finesse de la terre.

252- Enregistrement

Dès son arrivée au laboratoire, chaque échantillon est inscrit dans le registre du laboratoire.

Dans le registre sont mentionnés:

- le numéro d'ordre chronologique de réception au laboratoire de l'échantillon; il commence par 1 à partir du 1er Janvier de chaque année et est associé à l'année; Si le laboratoire analyse autre chose que des sols, le numéro est précédé d'une lettre d'identification de la nature de l'échantillon (S= sol, P= plante, F = fertilisation, D = divers) et suivi d'une lettre d'identification du cadre de l'analyse (R = recherche, E = étudiant, C = cartographie, A = agriculture), par exemple S / 99 /16 / R : le 16ème échantillon reçu au laboratoire en 1999, il s'agit d'un échantillon de sol à analyser dans le cadre de recherche. Ce numéro sera inscrit sur l'étiquette de l'échantillon brut et maintenu sur la boîte ou le sachet contenant l'échantillon traité ;
- la date de réception de l'échantillon ;
- le nom et les coordonnées complètes de la personne ou l'organisme qui demande l'analyse (client, chercheur, étudiant + encadreur) ;
- le numéro de terrain (voir fiche d'échantillonnage ou étiquette) ;
- les analyses à effectuer ;
- les remarques (par exemple : poids approximatif si l'échantillon ne suffit vraisemblablement pas pour les analyses demandées) ;
- la date à laquelle toutes les analyses sont terminées et les résultats vérifiés pour communication à l'intéressé.

253-Appareils et matériel

- armoire chauffée et ventilée, réglée au maximum à 40°C, en l'absence d'une salle de séchage ventilée
- mortiers en porcelaine (diam . 15 et 30 cm) et pilons appropriés
- tamis 2mm (diamètre = 20 cm) avec fond et couvercle (et passoire)
- bocal ou sachets en plastique pour échantillon broyé et tamisé
- balance type Roberval, 5 kg, précision 1 g

254-Procédure

- Verser et étaler la terre sur une feuille de papier portant la référence
- Glisser le sac d'origine sous l'échantillon afin de ne pas le séparer de ce dernier
- Deux ou trois fois par jour, écraser à la main les mottes de terre afin de favoriser le séchage. L'échantillon est sec lorsqu'il s'effrite entre les doigts sans mollir.
- Faire passer à travers un tamis de 2mm d'ouverture. Après chaque opération de tamisage, verser le refus sur une feuille de papier. Si celui-ci contient de la terre agglomérée, les mettre dans un mortier en porcelaine, et à l'aide d'un pilon, écraser les petites mottes de terre sans taper ni appuyer trop fort.
- Pour les analyses de routine, conserver environ 500g de cet échantillon dans un sachet plastique portant la référence.
- Broyer ensuite 10g de ce même échantillon et faire passer à travers un tamis de 0,5mm d'ouverture. Le conserver dans un sachet plastique portant la référence. Cet échantillon est réservé pour les analyses suivantes.
- Carbone organique
- Azote total et Fer extractable

- 3 - Analyse granulométrie

31 - Principe :

L'analyse granulométrique ou analyse mécanique consiste à séparer la partie minérale de la terre en catégories classées d'après la dimension des particules minérales inférieures à 2mm et à déterminer, les proportions relatives de ces catégories, en pourcentage de la masse totale du sol minéral.

La proportion des particules minérales du sol classées, après destruction des agrégats, par catégories de grosseurs en plusieurs fractions principales définit la texture du sol ou composition granulométrique.

La partie minérale supérieure à 2mm est appelée <éléments grossiers > ou < refus >

En général, l'analyse granulométrique comporte quatre étapes distinctes :

- Détermination par tamisage à sec des particules ne traversant pas un tamis à ouverture de 2mm ;
- Elimination ou inactivation des agents de cimentation et de liaison qui empêcheraient la dispersion et/ou entraîneraient la floculation des particules plus fines en suspension. Dispersion complète de l'échantillon de terre par ajout d'un agent dispersant principalement pour inactiver le pouvoir liant des ions à l'égard des particules minérales, puis mise en suspension dans des conditions bien définies ;
- Détermination de la fraction <argile> et des fractions < limon > dans l'échantillon dispersé par la mesure de la densité à l'aide d'un hydromètre spécial, méthode de Bouyoucos (1927) ou de Day ;
- Séparation de la fraction totale de sable par tamisage humide, suivi par le fractionnement du sable total par tamisage à sec.
- Il est convenu que le pourcentage de chaque catégorie de particules sera exprimé par rapport à la terre séchée à l'étuve et exempte de matière organique, de carbonate de calcium et de gypse.

32 - Matériels et réactifs

- Mixeur
- Cylindre jaugé de 1l ou une allonge de 1 litre par échantillon
- Densimètre de Bouyoucos graduée en g/l
- Thermomètre
- Hexamétaphosphate de sodium 5% 5ml par échantillon
- Alcool amylique
- Chronomètre
- Balance à 0,001g

33 - Mode opératoire :

- Peser 50g de sol séché à l'abri dans un bécher de 600ml
- Ajouter 50ml d'hexamétaphosphate de Na et 100ml d'eau distillée
- Bien mélanger et laisser se reposer pendant une nuit
- Agiter pendant 5mn à l'aide d'un mixeur
- Transvaser dans un cylindre de 1l et à l'aide de l'eau de rinçage, compléter le volume jusqu'au trait.
- Ajouter 65ml d'eau distillée et laisser se reposer quelques minutes afin d'obtenir l'équilibre thermique avec le milieu ambiant
- Boucher le cylindre et retourner vivement à plusieurs reprises pendant 1mn. Laisser se reposer et déboucher
- Préparer un blanco en utilisant seulement de l'eau distillée et 25ml de la solution d'hexamétaphosphate de sodium 5% (si l'échantillon a été dispersé de cette manière)
- Après 40s et 2 h de repos, introduire doucement le densimètre dans le liquide surnageant (ou suspension) et faire la lecture .
- La température et la densité du blanco doivent être mesurées aux mêmes temps de lecture.

Remarques :

- L'introduction du densimètre dans le liquide se fait 10s avant la lecture
- S'il y a formation de mousse à la surface, ajouter quelques gouttes d'alcool amylique pour les faire disparaître
- Faire un essai à blanc dans les mêmes conditions

34 - Echelle de classement des grains ou Echelle granulométrique

Les particules minérales ont été classées selon l'échelle internationale (Association Internationale de la Science du Sol, 1930) de la façon suivante:

⇒	Argile <	2µm	[1 micron = 1/1000mm (ou micromètre)]
⇒	Limon :	2µm	- 20µm

- ⇒ Limon grossier : $20\mu\text{m}$ - $50\mu\text{m}$
- ⇒ Sable fin : $50\mu\text{m}$ - $200\mu\text{m}$
- ⇒ Sable grossier : $200\mu\text{m}$ - 2mm
- ⇒ Eléments grossiers $> 2\text{mm}$ {Gravier : 2mm - 20mm et Cailloux $> 20\text{mm}$ }

35 - Appellation des classes de texture

- ⇒ argile
- ⇒ argile limoneuse
- ⇒ argile limono - sableuse
- ⇒ argile sableuse
- ⇒ limon argileux
- ⇒ limon moyen
- ⇒ limon léger
- ⇒ limon argilo-sableux
- ⇒ limon sablo- argileux
- ⇒ limon sableux
- ⇒ sable limono-argileux
- ⇒ sable limoneux
- ⇒ sable argileux
- ⇒ sable

- 4 - Dosage des éléments chimiques du sol

Le plan à suivre pour chaque dosage est le suivant :

- Méthode
- Principe
- Appareillage et Réactifs
- Procédure (techniques et mode opératoire)
- Calcul

41 - Détermination du pH eau

411 - méthode:

Le pH du sol se détermine à l'électrode combinée sur une suspension sol/eau dans le rapport 1:1

412 - appareillage et réactifs :

- pH-mètre
- bécher de 50ml
- eau distillée
- pissette
- baguette de verre
- solutions tampons pH 4 et pH

413 - procédure :

- peser 25g de sol séché à l'air dans un bécher de 50ml
 - ajouter 25ml d'eau distillée
 - laisser en contact pendant 30mn en agitant de temps en temps à l'aide d'une baguette de verre .
 - après étalonnage du pH-mètre, introduire avec précaution l'électrode dans la suspension et lire le pH.
- Ne pas agiter la suspension durant la mesure.

42 - Dosage du carbone organique

421- méthode

On utilise la méthode à froid de Walkley - Black

4211- principe

Le carbone organique est oxydé, en milieu sulfurique, à froid par un excès d'oxydant puissant : le bichromate de potassium, (dosage du carbone par le bichromate de potassium en excès en présence de l'acide sulfurique pure).

On oxyde la matière organique par une quantité connue de solution titré de CrO_3 (bichromate de K) dont on dose l'excès par une solution de sel de Mohr.

L'oxydation n'est pas complète, mais la proportion de C oxydé est sensiblement constante, et représente environ 77% du total. Ensuite on dose en retour le bichromate non utilisé, c'est à dire l'excès, par une solution de sulfate ferreux (solution de Mohr).

La solution prend une coloration vert intense due à la formation de sulfate de chrome. On utilise comme indicateur de REDOX, la diphénylamine sulfonate de baryum en solution à 0,1 %.

On sait par différence, la quantité de bichromate nécessaire à l'oxydation du carbone, et particulièrement la quantité de carbone oxydé.

4212- réactifs et préparation

-Bichromate de potassium 1 N : dissoudre 49,04g de bichromate dans une fiole jaugée de 1l avec de l'eau distillée et compléter le volume jusqu'au trait de jauge

-Acide sulfurique concentré : 20ml par échantillon

-Sulfate ferreux 0,5 N : dissoudre 140g de sulfate ferreux ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) dans un fiole jaugée de 1 l avec de l'eau distillée. Ajouter 15 ml d'acide sulfurique concentré et compléter le volume à 1 l avec de l'eau distillée.

-Complexe ferreux-ortho-phénatroline 0,025M:dissoudre1,485g d'ortho-phénatroline monohydraté et 0,695g de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dans de l'eau distillée et compléter le volume à 100 ml.

4213- procédure

- *mode opératoire*

Peser à peu près 0,5g de sol de diamètre 0,5mm et noter le poids exacte. Le transvaser dans un erlenmeyer 250 ml.

-Ajouter 10ml de bichromate 1N et faire tourner l'erien pour faire disperser le sol dans la solution.

Tourner l'erien puis agiter vigoureusement pendant 1mn

-Laisser reposer pendant 30mn

-Ajouter 4 gouttes d'indicateur et titrer la solution avec FeSO_4 0,5 N

La fin de la réaction s'achève par le virage d'une coloration verte intense au rouge violacé

-Faire un essai à blanc dans les mêmes conditions.

4214- calcul

Théoriquement, 1ml de solution N de bichromate correspond à 3mg de C organique . Le taux d'oxydation étant de 77%; 1ml correspond à $3 \times 100 = 3,9$ mg de C organique

On peut en déduire la teneur pour mille de C organique dans la terre.

$$\text{Carbone organique } \text{‰} = (\text{Nox} \cdot \text{Vox} - \text{Nred} \cdot \text{Vred}) \times 3,9$$

Ox = bichromate

Red = sulfate ferreux

Le résultat du dosage permet aussi de d'évaluer la teneur en matière organique du sol étudié.

Pour un terre de culture normale, le C représente environ 55% de la matière organique totale d'où :

$$\text{MO } \% = 100/55 \times \text{C } \%$$

43-Dosage de l'azote total

431- méthode

La méthode proposée ici est celle de Kjeldahl, utilisable pour des dosages de quantités d'azote relativement importantes

432- principe

Il s'agit de transformer tout l'azote en ammoniacque, facilement dosable (titrimétrie ou colorimétrie). L'azote organique du sol est minéralisé par l'acide sulfurique concentré.

Minéralisation de l'azote organique

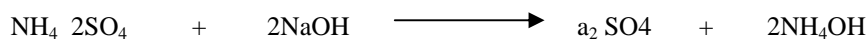
On chauffe en présence de l'acide sulfurique concentré et d'un catalyseur, la matière organique en vue de changer l'azote sous forme sulfate d'ammonium (NH_4)₂ SO₄.

Il y a minéralisation de l'azote organique qui permet d'obtenir le sulfate d'ammonium que l'on dose selon le principe suivant :

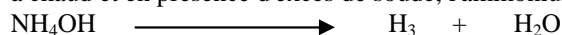
- Distillation de l'ammoniacque

-On déplace l'ammoniacque par la soude et on récupère par distillation dans l'appareil de Kjeldahl.

Il s'agit d'une réaction d'une base forte sur un sel de base forte:



à chaud et en présence d'excès de soude, l'ammonium se dégage

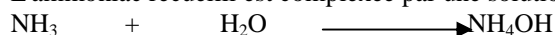


Titration

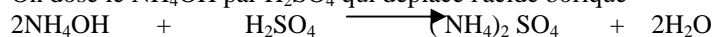
L'ammoniac NH_3 peut être recueilli :

- soit dans l'eau où il est aussitôt neutralisé par un acide fort titré (H_2SO_4 N ou N/10)

L'ammoniac recueilli est complexée par une solution d'acide borique

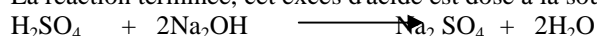


On dose le NH_4OH par H_2SO_4 qui déplace l'acide borique



- soit dans l'acide sulfurique titré en excès

La réaction terminée, cet excès d'acide est dosé à la soude titrée



433- réactifs

- Acide sulfurique pur
- Acide borique en solution à 2% dans l'eau
- Catalyseur : 100g de sulfate de potasse secs
60 g de sulfate de cuivre mélangés
2g de selenium en poudre
- Indicateur de Tashiro : 240 cm³ de rouge de méthyle saturé et 10 cm³ de bleu de méthyle à 0,025 % dans l'alcool à 50 °C.
- Soude N/140
- Acide chlorhydrique N/70

434- procédure

technique et mode opératoire

1 g de sol est introduit dans un micro Kjeldahl de 100cm³ avec 5cm³ d'acide sulfurique pur et environ 1g de catalyseur (mesuré à la cuillère).

On fait bouillir jusqu'à ce que l'ensemble ait pris depuis 10 minutes environ une couleur blanc- bleuâtre (à peu près une 1/2 heure en tout). On laisse refroidir, on ajoute à la pissette 5 à 10 cm³ d'eau et, en maintenant le ballon sous un courant d'eau froide, 10cm³ de lessive de soude (le liquide du ballon devient alors bleu sale) juste avant d'introduire le ballon dans l'appareil à distiller de Maume.

On reçoit le distillat dans 6cm³ d'HCl N/70 coloré par du Tashiro. En fin de distillation, si le liquide recueilli est vert, on rajoute la quantité entière (1,2 ...4 cm³) d'acide nécessaire pour le ramener au violet. L'excès d'acide non bloqué par l'ammoniaque distillée est titré par la soude N/140.

435 -calcul

Il est difficile de connaître directement le titre des solutions employées. Alors on réalise : Etalonnage : on distille au préalable 10cm³ d'une solution N/140 de $\text{SO}_4 (\text{NH}_4)_2$ (très facile à préparer avec précision) ce qui donne VE de cm³ (voisin de 10) de soude N/140 correspondant à la quantité d'HCl N/70 neutralisé par l'ammoniaque recueillie lors de la distillation d'1 mg d'azote : si on utilise 6cm³ d'HCl N/70 auquel correspond 6 x (2 + Eps) cm³ de soude et qu'on ait un retour de (2+Eps') cm³ : $\text{VE} = (2 + \text{Eps}) \times 6 - (2 + \text{Eps}')$.

Si les solutions sont exactes : Eps = Eps' = 0 et VE = 10

- Calcul proprement dit : soit Vh le volume d'acide N/70 employé pour recueillir le distillat : il lui correspond un volume VH de soude N/140 (voisin de 2Vh) soit VR la quantité de soude utilisée pour neutraliser l'excès d'acide.

La teneur de la terre est :

$\text{N o/o} = \frac{\text{VH} - \text{VR}}{\text{VE}}$
--

44-Phosphore assimilable

441- méthode

Pour ce dosage on applique la méthode colorimètre de BRAY II, extraction de P_2O_5 assimilable par le tampon ou réactif d'extraction FNH_4 0,03 N + HCl 0,1 N. Cette méthode donne le P_2O_5 adsorbé + le P_2O_5 soluble aux acides. Aussi elle fournit des corrélations entre les teneurs en P_2O_5 du sol et les résultats culturaux.

442- principe

L'acide phosphorique est déplacé par un réactif acide (HCl 0,1 N), faible, résultat réalisé en tamponnant la solution par FNH_4 . Le sol flocule et on obtient un filtrat contenant les phosphates dissous. On dose le P_2O_5 dans le filtrat en effectuant des dilutions et utilisant la solution diluée de $SnCl_2$ et celle de molybdate d'ammonium.

443- réactifs et préparation des solutions

- NH_4F 1N : Dissoudre 37g de fluorure d'ammonium avec de l'eau distillée et compléter le volume à 1 l en utilisant une fiole jaugée de 1 l. On peut stocker cette solution dans une bouteille en polyéthylène.
- HCl 2N : Diluer 80,8ml de HCl concentré par l'eau distillée pour avoir un volume de 500ml.
- Solution extractante : Ajouter 15ml de fluorure et 25 ml de HCl 2N dans 460ml d'eau distillée. Cette solution nous donne 0,03 N et 0,11 de HCl . On peut le stocker dans une bouteille en verre pendant une année.
- $SnCl_2$, H_2O concentré : Dissoudre 10g de chlorure stanneux dans 25ml de HCl concentré. Le stocker dans une bouteille à compte goutte sombre pendant 6 semaines.
- Molybdate d'ammonium : Dissoudre 15g de paramolybdate d'ammonium dans 30ml d'eau distillée. Y ajouter lentement 290ml de HCl 12N en agitant. Refroidir et compléter le volume à 1 l avec de l'eau ionisée. Stocker cette solution dans une bouteille en verre sombre pendant 2 mois.
- Solution diluée de $SnCl_2$: Diluer 3gouttes de Chlorure stanneux concentré dans 50ml d'eau distillée. Cette solution est à renouveler toutes les 2 heures.
- Solution mère et étalon de P : 100ppm : Dissoudre 0,2129g de K_2PO_4 séché à l'étuve à 110 °C dans l'eau distillée. Compter le volume à 50ml en utilisant une fiole de 500ml.
- Solution fille étalon de 10 ppm : Mettre 10 ml de la solution mère étalon de : 100ppm dans une fiole de 100ml. Ajouter de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.
- Solutions standards : 1ppm, 2ppm, 3ppm et 5ppm : A partir de la solution de 100ppm, mettre respectivement 2,5ml, 5ml, 7,5ml et 2,5 ml dans 4 différentes fioles jaugées de 25ml portant chacune leur référence et additionner de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

444- procédure

4441 - Etablissement de l'échelle colorimétrique(témoins)

Ajouter dans les solutions standards : 1ppm, 2ppm, 3ppm, et 5ppm des gouttes des deux réactifs molybdique et stanneux pour développer la coloration (25ml de solution par fiole). La lecture du colorimètre donne "déviation".

Construire la courbe d'étalonnage du colorimètre en opérant vers 830 μm , à partir des résultats obtenus par ces témoins (déviation en ordonnée, et volume prélevé : 2,5ml, 5ml, 7,5ml et 12,5ml en abscisse).

4442 - Dosage

Peser 2g de terre fine et mettre dans un flacon de 750 ml

Ajouter 400 ml de la solution d'extraction

Agiter pendant 30mn

Filtrer jusqu'à ce qu'on obtienne un filtrat limpide

Prélevé 25ml du filtrat dans un erlen de 200 ou dans une fiole de 100

Ajouter 2ml de la solution de molybdate d'ammonium et 4 gouttes de chlorure stanneux

Attendre 5mn et colorimétrer à 830 μm

Prendre 10 ml de solution à doser

Ajouter quelques gouttes de réactif molybdique et de réactif stanneux

Si besoin est, il faut diluer la solution pour obtenir une coloration comparable aux colorations de l'échelle.

4443- calcul des résultats

A l'aide des lectures données par les étalons, on construit la courbe d'étalonnage ; en reportant au-dessus les lectures fournies par les solutions à doser, on obtient par intrapolation leur concentration en ppm de P_2O_5 par litre, et on en déduit la teneur de ce sol en P_2O_5 .

$$P_2O_5 \% = \frac{\text{Lecture Courbe} \times 100}{\text{Prise}}$$

Prise = Poids prélevé x Volume du filtrat prélevé
Volume utilisé de la solution d'extraction

45-Bases échangeables

451- Méthode

La méthode appliquée pour le dosage des bases échangeables du sol est la spectrophotométrie de flamme

452- Principe

Les bases échangeables sont celles extraites à l'aide d'une percolation par une solution normale d'acétate d'ammonium neutre en procédant par fractions successives et de façon à ce que la percolation dure six heures.

Lorsqu'on traite la molécule argilo-humique par un sel neutre, il y a réaction d'échange et les cations métalliques : Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ sont déplacés par lessivage successifs à l'aide d'une solution normale de sel qui est l'acétate d'ammonium (CH_3COONH_4 1N) et se trouvent dans la solution de percolation. Ce déplacement se fait en milieu neutre et tamponné. Il est possible de déterminer leur quantité respective à partir de cette solution en dosant les éléments au spectrophotomètre de flamme.

DETERMINATION DES CONCENTRATIONS PAR SPECTROPHOTOMETRIE D'EMISSION

- 1- Réactifs et Préparation

-Acétate d'ammonium NH_4OAc 1N : Peser 77,08g d'acétate d'ammonium et le dissoudre dans de l'eau distillée à 1 l.

- 2- Procédure

Placer 10g de sol de diamètre 2mm dans un erlenmeyer de 125 ml. Ajouter 40ml d'acétate 1 N.

-Tournoyer et laisser reposer pendant 1 heure ou plus.

-Transférer le contenu de l'erlenmeyer dans un entonnoir de 8mm de diamètre adapté à une fiole à vide et garni d'un papier filtre.

-Bien rincer plusieurs fois le contenu de l'erien par 10ml d'acétate et le transférer dans un bûcher jusqu'au trait de jauge par l'acétate.

-Déterminer les concentrations des solutions en Ca, Mg, K, Na, en faisant la lecture sur l'Appareil d'Absorption Spectrophotométrique (AAS)

Normes d'interprétation de richesse d'un sol selon les analyses chimiques (d'après Riquier, Madagascar, 1956) en 0 / 00 de la terre tamisée à 2mm)

Les propriétés chimiques des sols dépendent naturellement de l'humus, des acides humiques et du complexe absorbant

- 1 - Richesse de l'humus en azote

- A C/N élevé (15 à 25) correspond une matière organique mal décomposée
- A C/N voisin de 10 (8 à 12) correspond une matière organique bien décomposée
- En dessous de 10, le rapport C/N indique des sols minéralisés, à faible

réserve de matière organique

2 - Evaluation des bases échangeables

Bases échangeables méq. / 100g	Très Pauvre	Pauvre	Moyen	Riche	Très Riche
CaO	0,30	0,30 à 0,65	0,65 à 1	1 à 2	2
MgO	0,08	0,08 à 0,20	0,20 à 0,30	0,30 à 0,60	0,60
K ₂ O	0,05	0,05 à 0,10	0,10 à 0,20	0,20 à 0,40	0,40

3 - Evaluation des bases totales et de l'azote total

Bases totales (d'acide nitrique)	Très Pauvre	Pauvre	Moyen	Riche	Très riche
CaO	1	1 à 2	2 à 3	3 à 5	5
MgO	0,5	0,5 à 1	1 à 1,5	1,5 à 2,5	2,5
K ₂ O	0,5	0,5 à 1	1 à 1,5	1,5 à 2,3	2,3
Azote total	0,5	0,5 à 1	1 à 1,5	1,5 à 2,5	2,5

4 : Valeurs limites et moyennes de la Capacité d'Echange des Cations [CEC]

ORDRE DE GRANDEUR DE [CEC]		
	Limites méq / 100	Moyenne méq / 100
Acide humique		370
Humus		260
Vermiculite	65 à 145	140
Montmorillonite	60 à 150	80 - 120
Illite	20 à 40	30
Kaolinite	3 à 15	8

5 -Evaluation des rapports des bases échangeables et C/N

Rapport	Trop faible	Satisfaisant	Un peu de tout	Trop fort
Mg éch. o/oo	0,1	0,1 à 0,8	0,8 à 1,5	1,5
Ca éch. o/oo				
Na éch. o/oo		0,1		0,15
Ca éch. o/oo				
C total o/oo	10	10 à 20		20
N total o/oo				

6 :Evaluation de la somme des bases [S], de la capacité d'échange[CEC] et de la saturation du complexe échangeable[V]

Appréciation	Très Faible	Faible	Moyenne	Forte	Très Forte
Somme des bases (S) meq/100g (bases échangeables additionnées)	2	2à5	5à10	10 à 15	15
Capacité d'échange(T) meq/100g (acétate de NH ₄ et distillation)	5	5à10	10à25	25 à 40	40
Saturation du complexe échangeable(V) %	15	15à40	40à60	60 à 90	90 à 100

7 Evaluation de la salinité de sols à l'aide du rapport Na /CEC et de la conductivité électrique [CEC]

Na (meq) CEC (meq)	Sols salins (+ NaCl)ou non	Impossible totale d'irriguer
-----------------------	---------------------------------	---------------------------------

	15%	40%
--	-----	-----

- 8 Echelle de salinité

Conductibilité Electrique 25 ° (CE 25°)	Salinité
0 à 500	Non salin
500 à 1000	Légèrement salin
1000 à 2000	Salin
2000 à 4000	Très salin
Plus de 4000	Excessivement salin

La teneur en sel solubles des sols qui contiennent suffisamment de sels solubles pour que leur écologie et leurs propriétés physiques soient fortement modifiées s'exprime en conductibilité spécifique à 25 °C en micro-ohms de la solution obtenue par agitation d'une partie d'échantillon dans cinq parties d'eau ou extrait 1/5 ; elle s'écrit CE 25°C .

Les sels qui affectent le sol sont les plus souvent des chlorures et des sulfates de sodium, calcium ou magnésium

Les sols contenant suffisamment des sels solubles se subdivisent d'après la proportion des cations et de la nature de l'anion dominant

- 9 :Evaluation de l'acidité actuelle (du pH)

PH	Appréciation
4,5	Extrêmement acide
4,6 à 5	très fortement acide
5,1 à 5,5	Fortement acide
5,6 à 6	Moyennement acide
6,1 à 6,5	Faiblement acide
6,6 à 7,3	Neutre
7,4 à 7,8	Légèrement alcalin
7,9 à 8,4	Moyennement alcalin fortement alcalin
8,5 à 9	Fortement alcalin
> 9,1	très fortement

La valeur du pH pour la culture du riz va de 5 à 8

- 10 Types de sols selon les anions et cations

Cation	Anion Dominant	Type de sol	Proportion des cations
Sodium Na	Chlorure	Sodique Chloruré ou Sulfaté	$\frac{Na + K}{Ca + Mg} > 4$
Potassium K		Sodique et Magnésien Chloruré ou Sulfaté	Si $1 < \frac{Na + K}{Ca + Mg} < 4$ et $\frac{Ca}{Mg} < 1$
Calcium Ca	Sulfate	Sodique et Calcique Chloruré u sulfaté	Si $1 < \frac{Na + K}{Ca + Mg} < 4$ et $\frac{Ca}{Mg} > 1$
Magnésium Mg		Calcique Chloruré ou Sulfaté	Si $\frac{Na + K}{Ca + Mg} < 1$ et $\frac{Ca}{Mg} > 1$
		Magnésien Chloruré ou Sulfaté	Si $\frac{Na + K}{Ca + Mg} < 1$ et $\frac{Ca}{Mg} < 1$

Na, K , Ca et Ma exprimés en meq .

- 11 Calcul des analyses :

CO_2H o/oo = meq/100g x 0,61

SO_4 o/oo = meq/100g x 0,4

Cl o/oo = meq/100g x 0,35

Matières organique = C x 1,724

Meq/100 = rapport de la quantité d'un élément (exprimée en milligramme) à l'équivalent -gramme de cet élément .

Equivalent -gramme = masse atomique (cas d'une molécule à un seul atome) ou poids moléculaire divisé par la valence

Valence = nombre de H⁺ ou OH⁻ susceptible d'être remplacé

Milliéquivalent = 1/1000 x équivalent gramme

- 12 - Evaluation du phosphore du sol

Teneur de phosphore dans le sol	Appréciation
< 3 ppm	Très faible
3 - 7 ppm	Faible
7 - 20 ppm	Moyenne
> 20 ppm	Forte

- 13 Echelle de fertilité en fonction du pH (Tableau 22)

PH	Facteur de fertilité des sols tropicaux en zone irriguée (d'après DABIN-- ORSTOM)						
	0,1	0,2	0,3	0,5	1, 2	10	
7 et +	Basse	Moyenne	Bonne		Très bonne		Exceptionnelle
6,5 à 7	Basse	Médiocre	Moyenne	Bonne	Très bonne		Exceptionnelle
5,5 à 6,5	Très basse		Médiocre	Moyen	Bonne	Très bonne	Exceptionnel.
4,5 à 5,5	Très basse			Médio	Moyenne	Bonne	Très bonne
4 à 4,5	Très basse				Médiocre	Moyenn	Bonne

- 14 Normes pour la richesse en bases (d'après DABIN ORSTOM)

Pour un sol de 20 à 30 % d'argile plus limon, à capacité d'échange moyenne et à 2% de matière organique, on peut adopter les normes suivantes pour la richesse en bases en zones tropicales sécheresse à semi-humides (d'après Dabin)

Somme des bases en meq pour 10g	Réserves en base
1,5	Faibles
1,5 - 3	Médiocre
3 - 6	Moyennes
6 - 12	Bonnes
12 - 24	Très bonnes
24	Exceptionnelles

Pour les sols sableux, très humifère

il faudra tenir compte de la valeur de pH et de la capacité d'échange.

Pour chaque élément, en particulier K et Mg, il faut tenir compte du rapport des cations échangeables, et pour déterminer les besoins en Mg ou K, les rapports suivant doivent être pris en considération

$\frac{Mg}{K}$ et $\frac{Ca + Mg}{K}$, etc.,

Normes de classement des sols selon leurs caractéristiques physiques

- 15 - Evaluation de la réserve en éléments minéraux

Limon < 20 % : réserve faible

Argile

ANNEXE 7

ANALYSE ECONOMIQUE DES RESULTATS OBTENUS DANS LES ESSAIS

(Richard Perrin , Donald Winkelmann , Edgardo Moscardi et Jack Anderson - Programme d'économie du CIMMYT – Formulation de recommandations à partir de données agronomiques)

- 1 - Budget partiel

11- Méthode d'élaboration du budget partiel

Le budget partiel est une méthode employée pour organiser les données expérimentales de manière à faire apparaître les coûts et les bénéfices dérivant des différents traitements proposés. L'établissement du budget partiel complet implique une série d'opérations pour chaque traitement.

- Calculer les moyennes de rendement en grains de paddy.
- Ajuster les moyennes de rendement en l'abaissant d'un certain pourcentage afin de refléter la différence entre le rendement expérimental, souvent meilleur et le rendement que peut espérer obtenir le producteur de semences en appliquant ce traitement.
- Calculer le prix et le coût au champ d'un facteur de production (2 termes indiquant ce que le producteur aurait à payer pour l'achat d'un facteur de production et le transport de celui-ci sur ces terres.
- Calculer les coûts qui varient c'est-à-dire les dépenses par hectare qu'impliquent l'acquisition de divers facteurs de production, d'équipement et l'emploi de main d'œuvre, lesquels varient d'un traitement à un autre.
- Calculer le prix au champ du produit de la récolte (valeur d'un kg du produit cultivé, déduction fait du coût de la récolte, lequel est proportionnel au rendement) et le multiplier par les rendements ajustés afin d'obtenir les bénéfices bruts au champ pour chaque traitement.
- Calculer le bénéfice net, obtenu en déduisant le total de coûts qui varient du bénéfice brut au champ correspondant à chaque traitement.

Pour un essai donné, le budget partiel est présenté sous forme de tableau dont les colonnes correspondent aux traitements et les lignes indiquent les rendements, les coûts qui varient et les bénéfices.

12 - Elaboration du budget partiel de l'essai

121 – Les facteurs de production variables

Les engrais azoté, phosphaté et potassique sont les seuls facteurs qui varient dans cette expérience.

122 – Les engrais utilisés et leur prix sur le marché

- Urée 46% N : 150000fmg le sac de 50 kg
- Superphosphate triple 45 % P_2O_5 : 250 000fmg le sac de 50 kg
- Chlorure de potassium 60% K_2O : 250000fmg le sac de 50kg

123 – Coûts de transport d'un sac de 50 kg d'engrais

Du lieu d'achat à la ferme, le frais de transport d'un sac de 50kg est de 20000fmg

Tableau 58 : Prix au champ de 50kg d'engrais

Engrais	Prix sur le marché de 50kg d'engrais en fmg	Coût de transport de 50 kg d'engrais en fmg	Prix au champ d'un sac de 50 kg d'engrais en fmg
Urée 46% N	150000	20000	170000
Superphosphate triple 45% P_2O_5	250000	20000	270000
Chlorure de potassium 60% K_2O	250000	20000	270000

124 – Prix au champ de 1 kg d'élément fertilisant en fmg

Azote (N) : 46% N \longrightarrow 46 kg de N dans 100 kg d'urée

$$170000 / 23 = 7391 \text{ fmg}$$

Phosphore (P) : 45 % P₂O₅ \longrightarrow 19.4% de P = 0.194 kg de P dans 100 kg de TSP = 0.2 kg de P dans 100 kg de TSP

$$270000 / 50 \times 0.2 = 270000 / 10 = 27\,000 \text{ fmg}$$

- Potassium (K) : 60% K₂O \longrightarrow 49.74 % de K = 0.4974 = 0.5 kg de K dans 100 kg de KCl
 $270000/50 \times 0.5 = 270000 / 25 = 10\,800 \text{ fmg}$

125 – Coûts au champ de la quantité d'élément fertilisant dans un traitement donné

Dose appliquée d'engrais	Coûts au champ/ha en fmg
90 kg d'azote/ha de rizière	7391 x 90 = 665 190
60 kg de phosphore/ha	27 00 x 60 = 1.620 000
60 kg de potassium/ha	10800 x 60 = 648000

126 – Coûts de la main d'œuvre employée pour appliquer les engrais

Traitement	Prix au champ d'épandage d'engrais (fmg/ha)	Coûts d'épandage d'engrais (fmg/ha)
Témoin	30 000	0
N		60 000
P		30 000
K		30 000
NP		60 000
NK		60 000
PK		30 000
NPK		60 000

127 – Les coûts relatifs aux engrais qui varient pour chaque traitement

Traitement	Coûts fmg/ha	Coûts fmg/ha	Coûts fmg/ha	Classement
	épandage engrais	engrais	qui varient engrais	
Témoin	0	0	0	8
N	60000	665190	725 190	6
P	30000	1620000	1 650 000	4
K	30000	648000	678 000	7
NP	60000	665190+1620000	2 345 190	2
NK	60000	665190+648000	1 373 190	5
PK	30000	648000+1620000	2 298 000	3
NPK	60000	665190+1620000+648000	2 993 190	1

128 – Prix au champ du produit cultivé

1281 - Prix de vente du kg des semences produites

3000 fmg/kg

1282 – Coûts de vannage, de la mise en sac, et du transport

vannage : 20 000 fmg/tonne de paddy

mise en sac : 50 000 fmg/t

transport : 300 000 fmg/t

1283 – Prix au champ de paddy semences

$$3000 \text{ fmg} - (20 + 50 + 300) = 2630 \text{ fmg}$$

1284 - Coûts associés à la récolte, à la commercialisation et total des coûts qui varient

Traitement	Van.	Mise en sac	Transport	Coûts récolte et commerce en (fmg)	Coûts qui varient engrais	Total des coûts qui varient (fmg/ha)
------------	------	-------------	-----------	------------------------------------	---------------------------	--------------------------------------

Témoin	47 200	70 800	708 000	826 000	0	826000
N	83 600	125 400	1 254 000	1 463 000	725 190	2 188 190
P	60 800	91 200	912 000	1 064 000	1 650 000	2 714 000
K	54 400	81 600	816 000	952 000	678 000	1 630 000
NP	99 600	149 400	1 494 000	1 743 000	2 345 190	4 088 190
NK	91 600	137 400	1 374 000	1 603 000	1 373 190	2 976 190
PK	70 800	106 200	1 062 000	1 239 000	2 298 000	3 537 000
NPK	110 200	165 300	1 653 000	1 928 500	2 993 190	4 921 690

- 2 – La méthode graphique d'analyse marginale

21 - Méthode de l'analyse marginale

L'analyse marginale est une méthode de comparaison entre les coûts qui varient et les bénéfices nets. Elle est utile pour deux raisons :

- formuler des recommandations au producteur de semences quand l'évidence expérimentale est suffisante ;
- sélectionner les traitements en vue d'essais ultérieurs.

211 – Analyse de dominance

Examen initial des coûts et bénéfices de chaque traitement, servant à éliminer certains traitements pour simplifier l'analyse marginale.

Dans cette analyse, on met les traitements en ordre croissant suivant le total des coûts qui varient. Un traitement est dominé lorsqu'il procure un bénéfice net inférieur ou égal à celui d'un autre traitement dont le coût est moindre. Les traitements dominés, procurant des bénéfices nets insuffisants, sont exclus de l'analyse marginale. Cette analyse ne permet pas de formuler une recommandation ferme

212 – Les courbes des bénéfices nets

C'est un graphique dans lequel chaque traitement représenté par un point suivant les bénéfices nets et le total des coûts qui varient qui lui sont associés.

La ligne tracée pour unir ces points dessine la courbe des bénéfices nets (en réalité il s'agit d'une série de lignes), utile pour percevoir clairement les changements de coûts et bénéfices qui se produisent en passant d'un traitement au suivant, en progression ascendante. Les traitements non dominés sont reliés par une ligne.

213 - Taux marginal de rentabilité entre les traitements non dominés

C'est une méthode permettant de comparer les augmentations de coûts et les bénéfices entre les traitements. Ce taux est le bénéfice net marginal (augmentation des bénéfices nets) divisé par le coût marginal (augmentation des coûts qui varient) exprimé en pourcentage.

Le taux marginal de rentabilité indique le gain que le producteur de semences peut espérer retirer en moyenne de son investissement quand il prend la décision de changer une pratique (ou un ensemble de pratiques) pour une autre et il est toujours positif. Les coûts qui ne varient pas entre traitements n'affecteront pas le calcul du taux marginal de rentabilité.

214 – Taux minimum de rentabilité acceptable pour les producteurs de semences.

Ce taux minimum peut être évalué de diverses façons, mais dans la plupart des cas il se situe entre 50 et 100%.

Pour une nouvelle technologie conseillée que le producteur de semences devra apprendre et maîtriser, un taux minimum de rentabilité de 100% peut être considéré raisonnable (cas de la fertilisation au moyen des engrais N P K du riz irrigué de la région Sud Ouest de la province autonome de Toliara, cycle de culture ne se prolonge pas au-delà de 4 à 5 mois).

Si le taux de rentabilité marginal entre deux traitements, obtenu à la faveur d'un changement est plus élevé que le taux minimum de rentabilité, le changement d'un traitement à un autre sera attrayant pour le producteur qui sera disposé à changer un traitement pour un autre.

Dans le cas contraire, c'est-à-dire, si le taux marginal de rentabilité est inférieur au taux minimum, ce changement ne sera pas acceptable.

215 – Procédé d'analyse marginale

- elle doit être faite pas à pas, allant du traitement le moins coûteux au plus onéreux, en progression ascendante.
- si le taux marginal de rentabilité en passant du 1^{er} traitement au 2^{ème} est égal ou supérieur au taux minimum de rentabilité, il faut continuer et comparer au 3^{ème} traitement (et non le 1^{er} au 3^{ème} traitement) jusqu'à ce que le taux marginal soit inférieur au taux minimum de rentabilité.

- si la courbe des bénéfices nets tend à s'incliner vers le bas, l'analyse peut être interrompue après le dernier traitement qui, comparé à celui qui le précède sur une échelle de coûts descendants, indique un taux de rentabilité acceptable.

- si au contraire, la courbe des bénéfices nets est irrégulière, une analyse plus approfondie s'impose.

216 – Formulation de recommandations

Avant de pouvoir formuler une recommandation, il faut procéder à une analyse marginale minutieuse en utilisant un taux minimum de rentabilité approprié, parce que la recommandation formulée au producteur ne portera pas forcément sur le traitement qui correspond au taux marginal de rentabilité le plus élevé, ni sur le traitement qui procure le bénéfice le plus élevé, ni même sur le traitement pouvant assurer le meilleur rendement.

217 – Vérification des conclusions de l'analyse marginale par l'analyse sur la base des résidus

Pour cette méthode d'analyse sur la base des résidus, les traitements sont énumérés, comme toujours, suivant l'ordre croissant des coûts qui varient.

Dans les colonnes sont portés respectivement :

- 1^{ère} traitements ;
- 2^{ème} total des coûts qui varient (fmg) ;
- 3^{ème} bénéfices nets (fmg) ;
- 4^{ème} rentabilité requise : taux minimum de rentabilité x coûts qui varient(fmg)
- 5^{ème} résidu : différence entre les bénéfices nets et la rentabilité que requiert le producteur (fmg).

On compare les résidus entre eux. Le traitement auquel correspond le résidu le plus élevé est celui qui intéresse le producteur.

22 - Analyse marginale de l'essai

221 – Analyse de dominance

Tableau 38 : Classement des traitements en fonction de la totalité des coûts qui varient

	Témoin	K	N	NK	NPK
Total des coûts qui varient fmg	826000	1 630 000	2 188 190	2 976 190	4 921 690
Bénéfices nets (fmg)	5 380 800	5 523 600	8 805 210	9 069 210	9 569 610

222 - Les traitements dominés

Les traitements dominés sont P, PK et NP.

Tableau 59 : Taux marginal de rentabilité

Traitement	Coûts qui varient en fmg	Coûts marginaux en fmg	Bénéfices nets en fmg	Bénéfices nets marginaux en fmg	Taux marginaux de rentabilité
Témoin	826000		5380800		
K	1630000	804000	5523600	142800	17,76%
N	2188190	558190	8805210	3281610	587,90%
NK	2976190	788000	9069210	264000	33,50%
NPK	4921690	1945500	9569610	500400	25,72%

Coût marginal = différence entre les coûts qui varient de 2 traitements dans le cas de changement du témoin au traitement K, de K au traitement N, de N au traitement NK, de NK au traitement NPK.

Bénéfice net marginal = différence entre les deux bénéfices nets de deux traitements considérés [changement du témoin au K, de K au N, de N au NK, de NK au NPK]

Taux marginal de rentabilité = bénéfice net marginal divisé par le coût marginal exprimé en pourcentage, en passant d'un traitement en un autre.