

BURKINA FASO
Unité-Progrès-Justice

**Ministère des Enseignements Secondaire, Supérieur et de
la Recherche Scientifique**

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE
BOBO-DIOULASSO
(U.P.B.)

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNOLOGIQUE (C.N.R.S.T.)

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL
(I.D.R.)

INSTITUT DE L'ENVIRONNEMENT ET DE RECHERCHES
AGRICOLES
(I.N.E.R.A.)

STATION DE RECHERCHES AGRICOLES DE
FARAKO-BA

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté en vue de l'obtention du

DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

Option : **AGRONOMIE**

**Etude d'une fumure à base du burkinaphosphate sur le
riz irrigué à la vallée du Kou, dans l'Ouest du Burkina
Faso.**

Directeur de Mémoire : D^f **BACYE Bernard**

Maître de stage : D^f **BADO Boubié Vincent**

30 octobre 2000

ADAM-YEBOUA N'krumah

TABLE DE MATIERES

REMERCIEMENTS	iii
LISTE DES ABREVIATIONS	v
LISTE DES TABLEAUX	vi
LISTE DES FIGURES	viii
RESUME	x

INTRODUCTION GENERALE	1
------------------------------	----------

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction	5
I. 1. SYSTEME DE CULTURE ET EVOLUTION DE LA FERTILITE DES SOLS A LA VALLEE DU KOU	5
I.1.1. Système de riziculture	5
I.1.2. Evolution de la fertilité des sols à la vallée du kou	7
I.1.2.1. Evolution des rendements	7
I.1.2.2. Evolution des caractéristiques physiques des sols	8
I.1.2.3. Evolution des caractéristiques chimiques des sols	8
I.1.3. fertilisation	9
I.2. LES PHOSPHATES NATURELS DU BURKINA FASO	12
I.2.1. Chimie et minéralogie du burkinaphosphate	12
I.2.2. Facteurs de solubilisation du burkinaphosphate	14
I.2.3. burkinaphosphate et fertilisation	15

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

II.1. ZONE D'ETUDE	18
II.1.1. Le climat	18
II.1.2. La végétation	19
II.1.3. Les sols	19
II.2. MATERIEL	20
II. 2. 1. Engrais	20
II.2.1.1. Le burkinaphosphate	20
II.2.1.2. Le triple superphosphate	20
II.2.1.3. L'engrais NPK	21
II. 2. 2. le matériel végétal	21
II. 3. METHODOLOGIE	21
II.3.1. L'essai en station	21
II.3.2. Le test en milieu paysan	22

II.3.2.1. Campagne hivernale 1999	23
II.3.2.2. Campagne sèche 2000	23
II.3.3. Analyses statistiques des données	24

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1. ESSAI EN STATION	26
III.1.1. Résultats	26
III.1.1.1. Effets des types de phosphate sur les paramètres de rendement	26
III.1.1.2. Effets des doses de phosphore sur les paramètres de rendement	26
III.1.2. Discussions	27
III.2. TEST EN MILIEU PAYSAN	30
III.2.1 Saison humide 1999	30
III.2.1.1. Résultats	30
III.2.1.1.1. Effets comparatifs des types de fumure sur quelques paramètres agronomiques.	30
III.2.1.1.2. Efficacités agronomiques relatives des fumures.	34
III.2.1.1.3. Rentabilités économiques des fumures.	36
III.2.1.1.4. Revenus monétaires des fumures	38
III.2.1.1.5. Relations entre pratiques culturales et paramètres de rendement.	41
III.2.1.2. Discussions	47
III.2.1.2.1. Rendements et fumures	47
III.2.1.2.2. Rendements et pratiques culturales	49
III.2.1.2.3. Rendements et facteurs pédologiques	51
III.2.1.2.4. Fumures et économie	51
III.2.1.2.5. Economie et rendements	52
III.2.1.2.6. Facteur clé accroissant l'efficacité agronomique relative du burkinaphosphate par rapport au NPK	52
III.2.2 Saison sèche 2000	53
III.2.2.1. Résultats	53
III.2.2.1.1. Effets comparatifs des types de fumure sur quelques paramètres agronomiques.	53
III.2.2.1.2. Effets comparatifs des types de fumure sur les efficacités relatives et les paramètres économiques.	54
III.2.2.1.3. Effets des pratiques culturales paysannes sur l'efficacité des fumures.	58
III.2.2.1.4. Evolution de quelques paramètres comparatifs des types de fumure.	60
III.2.2.2. Discussions	62
III.2.2.2.1. Incidences agronomiques des types de fumures.	62
III.2.2.2.2. Incidences des pratiques culturales sur les types de fumure.	63
III.2.2.2.3. Bilan évolutif des deux types de fumure sur les deux campagnes.	64
CONCLUSION GENERALE	67
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	69
ANNEXES	74

REMERCIEMENTS

La présente étude n'aurait pas été possible sans le concours de certaines personnes qui, des parents, des chercheurs, des techniciens, des amis... Que les plus discrets d'entre eux me pardonnent, tant il m'aurait été impossible de les occulter de la présente liste d'expression de ma profonde reconnaissance.

Mes remerciements vont en tout premier lieu à M. BADO Boubié Vincent, mon maître de stage et chef du programme GRN/SP à l'INERA-Farakô-Ba. Son sens passionné de l'agronomie m'a fasciné et conforté dans le choix de mon futur métier. Pour moi, il restera l'homme de ma consécration, en même temps qu'une référence à plus d'un égard. A lui, je dis merci pour sa confiance placée en moi depuis mon acceptation à titre de stagiaire.

Je pense également à M.BACYE Bernard qui, de par sa rigueur légendaire et sa disponibilité, a vaillamment joué son rôle de directeur de stage, contribuant ainsi à la qualité de l'ouvrage. Qu'il reçoive ici, son épouse avec, l'expression de mon profond estime.

Que dire de M. BARO Etienne, si ce n'est lui reconnaître son sens d'ouverture et sa grande sympathie. Je le classerai volontiers parmi les chaleureuses personnes qui ont partagé jusqu'au bout les angoisses profondes et autres incertitudes liées à l'exécution de mon stage.

Ma liste, bien que non exhaustive ne saurait exclure M. TRAORE Youssouf, chef de l'antenne de l'INERA-Vallée du Kou ainsi que tout le personnel dont il a la charge. Je retiens de lui l'inoubliable accueil et l'intégration dont il a fait montre.

Aux docteurs TRAORE Ouala, KAMBIRE Yacynthe, OUATTARA Sibiry, qui n'ont ménagé aucun effort devant mes sollicitudes, pour agréments mon passage à l'INERA.

Je n'oublie pas le "Grand-Frère" MARE Lassane de la SONABEL et son épouse, qui n'ont pas ménagé leurs efforts pour me gratifier d'un séjour heureux à Bobo-Dioulasso.

D'autres personnes au nombre desquelles M^{me} OUEDRAOGO Brigitte à la LONAB, MM. OUEDRAOGO Madi et BAGAYA Seydou à la S^{te} "Sans-Frontière", M. KABORET Auguste de la FLASHS ont eu des actions similaires à Ouagadougou.

Pour en arriver à ma famille, je commencerai volontiers par rendre hommage à mon père pour son soutien moral et financier permanent. Sa foi en ma modeste personne, son courage, et son abnégation m'ont inspiré à plus d'un titre.

Sur ses recommandations, j'ai connu ce pays frère du Burkina Faso qui m'a adopté et façonné à sa manière. L'adversité et les péripéties rencontrées au quotidien m'ont largement

enseigné l'école de la vie. A cette patrie d'accueil et à son peuple hospitalier, je réitère ma sincère reconnaissance.

Le travail et la réussite à l'école ont toujours constitués pour moi une cause noble à défendre jalousement. Au nom de celle-ci, j'ai été arraché pendant six ans à l'affection des miens. Puissent toutes personnes chagrinées par ma longue absence, trouver ici l'expression de mon sincère pardon, et l'assurance de mon retour imminent au bercail. Je fais allusion notamment à mes mères, qui du reste n'ont cessé de me soutenir par leurs prières. Je n'oublie pas mes frères et sœurs, ainsi que M^{lle} BAMBA Ansiata, qui, je crois, a beaucoup souffert des désagréments de mon "périple". Aussi, ferais-je mal d'omettre M^{lle} YEGNON-COULIBALY Clémentine, qui a su me combler d'un soutien multiforme à Ouagadougou.

Dieu vous bénisse tous! Ce Dieu à qui je dois de prime abord la réalisation de ce document...

LISTE DES ABREVIATIONS

ACP : Analyse en Composantes principales.

ADRAO : Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest.

BP : Burkinaphosphate.

BUNASOLS : Bureau National des Sols.

CERCI : Centre d'Expérimentation sur le Riz et les Cultures Irriguées.

FAO : Food and Agriculture Organization.

GERDAT : Groupe d'Etudes et de Recherches pour le Développement de l'Agronomie
Tropicale.

ICRISAT : Centre International de Recherches sur la cultures des zones Tropicales semi-
arides.

INERA : Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles.

IRCT : Institut de Recherches du Coton et des Textiles exotiques.

PSSA : Programme Spécial pour la Sécurité Alimentaire.

SN SOSUCO : Société Nouvelle - Société Sucrière de la Comoé.

SOSUHV : Société Sucrière de la Haute-Volta (actuelle SN SOSUCO).

STATITCF : Statistiques de l'Institut Technique des Céréales et des Fourrages.

TSP : Triple Superphosphate.

USA : United States of America.

UV : Upper Volta.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Composition chimique moyenne du burkinaphosphate. -----	13
Tableau 2 : Solubilité du phosphate naturel dans quelques solvants conventionnels. -----	13
Tableau 3 : Tableau comparatif du TSP et du BP -----	20
Tableau 4 : Récapitulation des traitements de l'essai en station. -----	22
Tableau 5 : tableau récapitulatif des formules de fumure en comparaison -----	23
Tableau 6 : Récapitulation des doses et dates d'apport des fumures classique et alternative (campagne sèche 2000). -----	24
Tableau 7 : Effet comparatif du BP et du TSP utilisés à des doses identiques et croissantes de P_2O_5 sur riz irrigué à la vallée du Kou- Saison humide 1999. -----	26
Tableau 8 : Effet des doses croissantes de P_2O_5 sous forme de triple superphosphate sur les rendements et le nombre de talles par unité de surface. -----	26
Tableau 9: Effet des doses croissantes de P_2O_5 sous forme de burkinaphosphate sur le rendement et le nombre de talles par unité de surface. -----	27
Tableau 10: Effets moyens des deux fumures BP et NPK sur le rendement paddy et les paramètres de rendement-Saison humide 1999. -----	30
Tableau 11: Analyse de variance relative aux effets fumures, sols, fumier, et paysans (blocs) sur les rendements paddy-Saison humide 1999. -----	31
Tableau 12: Analyse de variance relative aux effets fumures, sols, fumier, et paysans (blocs) sur le nombre de panicules/m ² -Saison humide 1999. -----	31
Tableau 13: Analyse de variance relative aux effets fumures, sols, fumier, et paysans sur le nombre de talles/m ² -Saison humide 1999. -----	31
Tableau 14: Analyse de variance relative aux effets fumures, sols, fumier, et paysans sur le poids de 1000 grains (mg) -Saison humide 1999. -----	31
Tableau 15 : Efficacités agronomiques relatives des fumures par paysan (Saison humide 1999)-----	34
Tableau 16: Analyse de variance relative aux effets fumures, sols, fumier, et paysans sur les efficacités agronomiques relatives des deux fumures éprouvées-Saison humide 1999 -	35

Tableau 17: Tableau comparatif des fumures BP et NPK à travers les ratios valeurs sur coûts-Saison humide 1999.-----	37
Tableau 18: Analyse de variance relative aux effets fumures, sols, fumier, et paysans sur les ratios valeurs sur coûts des fumures BP et NPK éprouvées-Saison humide 1999.-----	38
Tableau 19 : Effets comparés des fumures à base de BP et de NPK sur les revenus monétaires des paysans (francs CFA/ha)-Saison humide 1999. -----	39
Tableau 20: Analyse de variance des effets fumures, sols, fumier, et paysan sur les revenus monétaires des paysans (francs CFA/ha) -Saison humide 1999. -----	40
Tableau 21 : Effets moyens des fumures BP et NPK sur les rendements et les paramètres de rendement (campagne sèche 2000). -----	53
Tableau 22 : Effets moyens des fumures BP et NPK sur les efficacités agronomiques et les paramètres économiques (campagne sèche 2000). -----	54
Tableau 23: Effets comparés des fumures BP et NPK sur les efficacités agronomiques relatives des paysans (campagne sèche 2000). -----	55
Tableau 24 : Effets comparés des fumures BP et NPK sur les rentabilités économiques (ratios valeurs sur coûts)-campagne sèche 2000. -----	56
Tableau 25: Effets comparés des fumures BP et NPK sur les revenus monétaires (francs CFA/ha) des paysans (campagne sèche 2000).-----	56
Tableau 26: Valeurs moyennes comparatives de la formule à base de BP sur l'ensemble des deux campagnes. -----	60
Tableau 27 : Valeurs moyennes comparatives de la formule à base de NPK sur l'ensemble des deux campagnes. -----	60

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Pluviométries annuelles de la décennie 1990-1999-Vallée du Kou-----	18
Figure 2 : Effets comparatifs des fumures BP et NPK sur les rendements du riz irrigué à la vallée du Kou - Saison humide 1999-----	32
Figure 3 : Effets comparatifs des fumures BP et NPK sur le nombre de panicules par m ² -----	32
Figure 4 : Effets comparatifs des fumures BP et NPK sur le nombre de talles par m ² -----	32
Figure 5 : Effets comparatifs des fumures BP et NPK sur le poids des grains-----	32
Figure 6 : Effets comparatifs des apports de fumier ou non sur les rendements paddy-----	33
Figure 7 : Effets comparatifs des apports de fumier ou non sur le poids des grains-----	33
Figure 8 : Effets comparatifs des apports de fumier ou non sur le nombre de panicules-----	33
Figure 9 : Effets de la variabilité des blocs sur les rendements paddy-----	33
Figure 10 : Effets de la variabilité des blocs sur le nombre de panicules-----	33
Figure 11 : Effets de la variabilité des blocs sur le poids des grains-----	33
Figure 12 : Efficacités agronomiques relatives des formules BP et NPK-----	35
Figure 13 : Effets comparatifs de la variabilité des blocs sur les efficacités agronomiques relatives-----	35
Figure 14 : Ratios valeurs sur coûts en fonction des types de fumures BP et NPK-----	37
Figure 15 : Effets de la variabilité des blocs sur les rentabilités économiques-----	38
Figure 16 : Revenus monétaires moyens des paysans par type de fumure-----	40
Figure 17 : Effets de la variabilité des blocs sur les revenus monétaires-----	41
Figure 18 : Cercle des corrélations NPK; plan 1-2 (axe 1 horizontal, axe 2 vertical)-----	43
Figure 19 : Cercle des corrélations NPK; plan 1-3 (axe 1 horizontal, axe 3 vertical)-----	43
Figure 20 : Cercle des corrélations NPK; plan 2-3 (axe 2 horizontal, axe 3 vertical)-----	44
Figure 21 : Cercle des corrélations BP, plan 1-2 (axe 1 horizontal, axe 2 vertical)-----	46
Figure 22 : Cercle des corrélations BPK plan 1-3 (axe 1 horizontal, axe 3 vertical)-----	46

Figure 23 : Cercle des corrélations BP; plan 2-3 (axe 2 horizontal, axe 3 vertical)-----	47
Figure 24 : Effets comparatifs des fumures BP et NPK sur les rendements du riz irrigué à la vallée du Kou-Saison sèche 2000-----	54
Figure 25 : Efficacités agronomiques relatives (EAR) des fumures BP et NPK- Saison sèche 2000-----	54
Figure 26 : Ratios valeurs sur coûts (RVC) en fonction des types de fumures BP et NPK-Saison sèche 2000-----	55
Figure 27 : Revenus monétaires moyens des par ha en fonction des fumures BP et NPK-Saison sèche 2000-----	55
Figure 28 : Effets de la variabilité des blocs sur les rendements paddy- Saison sèche 2000-----	57
Figure 29 : Effets de la variabilité paysanne sur les efficacités agronomiques relatives-Saison sèche 2000-----	57
Figure 30 : Effets de la variabilité des blocs sur les rentabilités économiques Saison sèche 2000-----	57
Figure 31 : Effets de la variabilité paysannes sur les rendements paddy- Saison sèche 2000-----	57
Figure 32 : Evolution moyenne des rendements du BP sur l'ensemble des deux campagnes-----	61
Figure 33 : Evolution moyenne des rendements du BP sur l'ensemble des deux campagnes-----	61
Figure 34 : Evolution moyenne des revenus monétaires des parcelles à BP de la première à la deuxième campagne-----	61
Figure 35 : Evolution moyenne des revenus monétaires des parcelles à NPK de la première à la deuxième campagne-----	61

RESUME

Le riz est en train de devenir la base alimentaire d'une population burkinabé de plus en plus nombreuse et urbaine. Malheureusement, l'accroissement de sa production est fortement compromis par son coût élevé de fertilisation. Cette étude se veut une contribution à la recherche de solutions palliatives aux engrais de synthèse importés, par le biais d'une plus grande utilisation des phosphates naturels locaux en riziculture irriguée.

Le premier volet de l'étude est un essai en station portant sur les effets comparatifs du BP et du TSP appliqués aux doses de 0, 25, 50 et 100 kg P₂O₅/ha. Les résultats obtenus semblent avoir été influencés par l'âge élevé des plants repiqués, les attaques infligées par les *Nymphulas*, la toxicité ferreuse, l'effet de la submersion, etc. Tant et si bien que ni le type de phosphate, ni les doses de P₂O₅ n'ont eu d'incidences significatives sur les rendements enregistrés.

Quant au deuxième volet mené en milieu paysan, il s'agit d'un test comparatif entre la fumure traditionnelle à base d'engrais NPK (300 kg/ha) et d'urée (100 kg/ha) d'une part, et une fumure alternative faite de 200 kg/ha de BP+250 kg/ha d'urée, d'autre part. Il en ressort une certaine supériorité de la première sur la seconde. Mais il a été aussi noté que la différence entre les deux formules s'amenuise avec les apports de fumier; et que dans les deux cas, l'obtention d'un bon rendement se trouve étroitement lié aux périodes de repiquage et de semis. Le meilleur comportement de la fumure BP (100 kg/ha d'urée + 5 t/ha de fumier) sur la fumure NPK (300 kg/ha NPK + 150 kg/ha d'urée) la campagne sèche suivante confirme l'effet bénéfique du fumier sur le phosphate, de même qu'il démontre l'existence d'un effet résiduel marqué du BP. Ici aussi, la précocité du semis et du repiquage se montre bénéfique.

Mots clés : burkinaphosphate, fumier, triple superphosphate, NPK, riz irrigué, vallée du Kou.

INTRODUCTION GENERALE

La consommation du riz au Burkina Faso ne cesse de croître d'année en année, avec un taux annuel de 1,5%. Cette situation, Gbikpi (1996) l'impute à la croissance démographique, mais aussi aux changements des habitudes alimentaires de la population de plus en plus urbaine, et à revenus fixes (Sié, 1986). La consommation individuelle de riz a plus que triplé en trente ans (ADRAO, 1993), passant de 4 kg/an en 1960 à 14 kg en 1990, et à 18 kg en 1994 (Gbikpi, 1996).

La production nationale est loin de suivre cette évolution. Estimée à 38 000 tonnes de paddy en 1985 (Sié, 1991), elle n'a jamais su permettre l'autosuffisance en riz, malgré les efforts ayant abouti à sa multiplication par trois entre 1986 et 1993 (Gbikpi, 1996). C'est dire que la satisfaction des besoins nationaux en riz passe encore et nécessairement par des importations colossales qui grèvent lourdement le budget du pays. En 1988, les sorties de devises à cet effet représentaient le 1/10ème du budget national, après avoir atteint le chiffre record de 14,8 milliards de francs CFA deux ans plus tôt.

Depuis 1970, des efforts sont consentis à plusieurs niveaux pour remédier à cette situation alarmante. Le développement de la recherche rizicole s'est soldé par des résultats encourageants, notamment par la mise au point de variétés à haut potentiel de rendement, de techniques culturales et des méthodes de protection phytosanitaire. Parallèlement, la riziculture irriguée a bénéficié d'une attention particulière qui s'est soldée par la construction de nombreux périmètres hydro-agricoles. Celle de la vallée du Kou, amorcée dès 1966 a ainsi été suivie des périmètres de Boulbi, de Mogtédou, de Karfiguela, du Sourou, de Banzon pour ne citer que ceux-ci. Si de tels investissements ont englouti de fortes sommes d'argent, 8 à 9 millions de francs CFA par hectare selon Dembélé *et al.*(1999), ils n'ont pas pu honorer l'espérance qu'ils ont grandement suscitée. En témoigne les niveaux de rendement et l'évolution du taux d'autosuffisance alimentaire en riz qui n'a cessé de chuter, passant de 86,17% à seulement 45% en l'espace de ces vingt dernières années (Gbikpi, 1996).

L'atteinte des objectifs initialement fixés a sérieusement été éprouvée par des contraintes de tous ordres. Ainsi, la monoriziculture telle que pratiquée sur les vastes périmètres aménagés a très vite révélé les ravageurs et les maladies comme d'importants facteurs limitants (Bonzi, 1979). Des solutions, chimiques pour l'essentiel (Séré, 1984, 1994), ont été proposées. D'autres méthodes ont aussi été préconisées : la lutte génétique à travers la résistance variétale, et la lutte culturale qui tient au respect du calendrier cultural, à

la bonne conduite de l'irrigation, à la bonne gestion de la fumure azotée (Séré *et al.*, 1994), et au contrôle des adventices.

L'autre problème majeur lié à l'exploitation des périmètres rizicoles est la chute du niveau de fertilité des sols : baisse du taux de matière organique, considérée du reste comme caractéristique des sols sous cultures (Boyer, 1982) ; baisse de la capacité d'échange cationique, toxicité ferreuse, tassement, etc. (Nebié, 1995). Cette situation se conjugue avec une mauvaise gestion des fumures organiques et minérales ; l'accessible niveau technologique du système de fertilisation proposé par la recherche, n'étant pas toujours synonyme d'accessibilité économique. Les engrais coûtent cher et ne sont pas à la portée du plus grand nombre. Le problème n'est certes pas récent, mais depuis la suppression de la subvention sur les intrants en 1988 (Gbikpi, 1996), et plus récemment depuis la dévaluation du franc CFA en 1994 (Gerner et Mokwunye, 1995 ; Bado et Hien, 1998), il se pose avec davantage d'acuité.

A la vallée du Kou par exemple, le coût moyen de fertilisation par hectare et par campagne peut être estimé à 97 250 francs. Ceci est dissuasif pour les producteurs et explique leur faible niveau d'utilisation des intrants agricoles qui, à son tour justifie la faiblesse de la productivité à l'hectare (Bado, 1991). L'augmentation de la production agricole, qui nécessite en grande partie le recours à la fertilisation (Gachon, 1975), requiert que des solutions palliatives soient trouvées. En cela, les ressources agro-minérales locales pourraient par exemple constituer une alternative intéressante. Evaluées à 136 millions de tonnes pour les phosphates, 40 000 tonnes pour la dolomie, 8,5 millions de tonnes pour la chaux, et 4,6 millions de tonnes pour le soufre (Lompo *et al.*, 1995), ces richesses nationales peuvent être d'un recours appréciable dans la réduction des coûts de fertilisation.

Pour d'évidentes raisons de libellé thématique traitant de l'"Etude d'une fumure à base de burkinaphosphate sur le riz irrigué à la vallée du Kou", nous nous appesantirons sur les phosphates bruts. Du reste ceux-ci constituent avec la dolomie les seuls à faire l'objet de recherches (Lompo *et al.*, 1995). De ces dernières, il ressort que le minerai présente une faible solubilité (Ouédraogo, 1983). Même s'il est vrai que ce fait en limite l'efficacité agronomique, il est aussi vrai que des procédés tels que l'acidulation partielle, l'utilisation conjointe avec la matière organique ou le soufre, peuvent en améliorer les effets (Bado, 1985; Bikienga, 1980; Bado, 1990; Bado, 1991). De plus, il a été noté que les minerais phosphatés bruts seraient beaucoup plus efficaces dans les sols acides (Bado, 1985; Mey *et al.*, 1986; Baeyens, 1967; Roesch et Pichot, 1985 cités par Bado, 1990). Les conditions

souvent acides des sols hydromorphes des périmètres irrigués pourraient donc constituer un potentiel assez important pour valoriser cette richesse nationale.

C'est en partant de cette hypothèse que cette étude a été entreprise. Elle vise :

-premièrement à éprouver l'efficiencia du burkinaphosphate par rapport au triplesuperphosphate ;

-et deuxièmement, à tester en milieu réel une formule de fumure peu onéreuse à base de burkinaphosphate et d'urée, tout en en comparant l'efficacité agronomique à celle de la fumure " traditionnelle " à base d'engrais NPK et d'urée.

Pour ce faire, un plan en trois chapitres a été adopté : le premier se consacrera à une synthèse bibliographique se rapportant au thème étudié ; le deuxième à la présentation du cadre d'étude, aux matériels et méthodes utilisés. Le troisième chapitre tiendra lieu de résultats et de discussions.

Chapitre I :
SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction

Plusieurs organismes de recherche au nombre desquels l'ADRAO, l'IRAT, le CERIC et l'INERA ont mené des travaux visant à mettre en place un paquet technologique pour l'accroissement de la production du riz au Burkina Faso. Bon nombre de ces travaux ont été conduits dans la plaine rizicole du Kou, visant et explorant des domaines tels que l'amélioration variétale, la protection sanitaire des cultures, les techniques culturales, etc. La présente synthèse fait le point des nombreux résultats acquis sur la fertilité des sols et le système de fertilisation du riz irrigué à la vallée du Kou. Aussi, sera-il exposé quelques résultats pertinents se rapportant au burkinaphosphate.

I. 1. SYSTEME DE CULTURE ET EVOLUTION DE LA FERTILITE DES SOLS A LA VALLEE DU KOU

I.1.1. SYSTEME DE RIZICULTURE

Les itinéraires techniques comprennent diverses pratiques culturales dont nous vous livrons l'essentiel. Il y a en premier lieu la préparation du terrain, via un labour assuré à l'aide d'une charrue à traction bovine. Le terrain est ensuite inondé une semaine durant afin d'en ramollir les mottes et de faciliter le hersage qui s'en suit (Sawadogo, 1986). Celui-ci est réalisé à l'aide d'une houe rotative hollandaise à traction bovine également. Il se trouve suivi du planage, opération nécessitant l'usage de planches en bois tout autant tractées. Pendant ce temps s'opèrent à un endroit de la parcelle les semis sur "planches", à des doses de semences allant de 10 à 12 kg pour 100 m² de terre humectée (Sawadogo, 1986). Les graines utilisées à cet effet sont initialement trempées dans de l'eau propre additionnée autrefois de THIORAL[®] (TMTD + lindal) à raison de 2 g/kg de semences, mais aujourd'hui de produits tels que le MARSHAL[®] (35% de carbosulfan) ou l'APRON[®] (méthaxyl + carboxine + furothiocarbe), le THIORAL[®] ayant été banni. Elles sont ensuite mises à prégermer pendant 48 ou 72 heures dans un endroit suffisamment humide. C'est après cette incubation qu'elles sont uniformément épandues sur les planches, et recouvertes de boue qu'il convient de tasser légèrement.

Deux à trois semaines après ces semis en pépinière, les plantules sont au stade quatre feuilles et sont suffisamment résistantes pour être transplantées. Alors intervient le repiquage, qui nécessite des plants sains, robustes et dotés d'une certaine homogénéité. Les

plants repiqués sont disposés en ligne droite à raison de 20 cm×20 cm d'écartement (Nebié, 1995), et de trois à quatre brins par poquet.

La fertilisation est amorcée au moment du repiquage avec l'engrais NPK appliqué à la dose de 300 kg/ha. S'en suivent les 100 et 150 kg d'urée/ha apportés respectivement en saison humide et en saison sèche ; ce à raison de 1/3 au tallage, et de 2/3 à l'initiation paniculaire. Mais la valorisation de la fumure ainsi appliquée exige que les parcelles réceptrices soient préalablement drainées, mais aussi que les adventices soient contrôlées. Cela nous conduit droit sur les méthodes de désherbage.

D'une façon générale, les méthodes de lutte contre les mauvaises herbes se dissocient mal du recours aux produits chimiques ; du moins pour ce qui est de la riziculture irriguée. Parmi ceux-ci, le CERICI (1985) en a retenu quelques uns en raison de leurs faibles phytotoxicités sur le riz. Il s'agit du TAMARIZ ORDINAIRE[®], du STAM F34[®] (propanil) du RONSTAR 12L[®] (oxadiazon), et du BASAGRAN PL2[®] (bentazon) (Sawadogo, 1986). Mais à la lumière des résultats de Nebié (1995), le nombre élevé de personnes présentes sur les exploitations (7) de la vallée du Kou, ne justifie pas les traitements chimiques. Aussi préconise-t-il le sarco-binage mécanique à la houe rotative chinoise, voire le désherbage manuel. Selon le CERICI (1985), le premier sarclage doit se faire 2 à 3 semaines après le repiquage, avec un deuxième et même un troisième en cas de nécessité.

Si le contrôle des insectes revêt lui aussi un caractère chimique, avec des produits tels que le DECIS 12EC[®] (deltaméthrine) et le FURADAN 5G[®] (carbofuran 5%), il reste que la lutte contre les maladies est de moins en moins évoquée, eu égard à la résistance vis-à-vis de celles-ci des variétés en vigueur.

En tout état de cause, la disponibilité de l'eau demeure la condition *sine qua non* pour une double culture annuelle. Celle-ci est de tradition, et l'irrigation idéale telle que relatée par Sinaré et Dembelé (1994) fait état du maintien du sol à l'état boueux au début de la période de reprise, puis de la permanence d'une lame d'eau de 5 cm dans les parcelles qu'il convient de drainer avant l'épandage des engrais. A la montaison-floraison, hausser le niveau d'eau à 8 cm, et ne procéder au drainage qu'au 14^{ème} jour avant la récolte. Cette conduite d'irrigation n'est pas toujours possible en raison de certaines contraintes rencontrées sur le périmètre : les insuffisances d'eau qui affectent les parcelles à forte infiltration en contre-saison, conduisent certains producteurs à opter pour les cultures maraîchères ou le maïs. Des cas d'abandon sont même enregistrés lorsque le phénomène prend une tournure exagérée. Ces abandons ont aussi lieu en hivernage, mais cette fois-ci la contrainte en cause se trouve

plutôt liée au trop plein d'eau. Dans tous les deux cas, le taux d'occupation des 1260 hectares de terres aménagées s'en trouve affecté, avec par exemple une valeur moyenne estimée à 80,8% pour la décennie 1981-1991 (Nebié, 1995).

Notons par ailleurs qu'il prévaut sur la vallée une certaine anarchie dans l'exécution des tâches culturales. Aussi bien en hivernage qu'en contre-saison, le calendrier cultural tel que préconisé par le CERCIC (1978 ;1979) n'est pas toujours suivi : les dates de repiquage sont concentrées dans le courant du mois d'Août, et les plants utilisés à cet effet sont généralement trop âgés. Au moins 95% des 117 paysans suivis par Nebié (1995) ont excédé la date limite de repiquage fixée au 25 juillet. De plus, seulement cinq d'entre eux ont respecté les 15 à 25 jours d'âge pour les plants repiqués. Le constat n'est pas plus encourageant avec les dates de semis des pépinières où la quasi-totalité des producteurs ont dépassé la date idéale de mi-juin, fixée par le CERCIC (1978).

En outre, il convient de signifier l'introduction un peu hasardeuse des variétés étrangères sur le périmètre, ce en dépit des nombreux cultivars mis au point par la recherche nationale. Néanmoins, la tendance préférentielle des producteurs reste encore perceptible pour les variétés FKR14 et FKR 19 depuis leur avènement.

1.1.2. EVOLUTION DE LA FERTILITE DES SOLS A LA VALLEE DU KOU

Cet aspect sera apprécié à travers l'évolution des rendements des cultures d'une part, et par celle des caractéristiques physiques et chimiques des sols d'autre part.

1.1.2.1. Evolution des rendements

L'examen par Nebié (1995) de l'évolution des rendements du riz à la vallée du Kou révèle que pendant les trois premières années de la mise en exploitation du périmètre, c'est-à-dire de 1970 à 1972, les rendements ont été d'un bon niveau avec une moyenne de 6,64 t/ha sur l'ensemble des deux campagnes annuelles. En 1973, l'on a assisté à une baisse brutale de ces rendements qui sont passés à 4,25 t/ha.

De 1973 à 1991, ils ont connu une forte variabilité d'une année à l'autre et d'une campagne à l'autre, allant de 2,7 t/ha en hivernage 1981 à 5,7 t/ha en contre-saison 1988.

Toutes ces données émanent de Nebié (1995), qui explique les fluctuations évoquées par des facteurs historiques et techniques. Il s'agit entre autres des changements intervenus dans l'assistance technique des paysans; de la baisse du niveau de

discipline des producteurs à partir de 1974, du mauvais entretien du réseau hydraulique et des phénomènes de toxicité ferreuse qui s'en ont suivi, des baisses générales du niveau de fertilité des sols; et de l' effet résiduel du chaulage intervenu en 1986.

1.1.2. Evolution des caractéristiques physiques des sols

Aux lendemains de la mise en valeur du périmètre, l'ADRAO (1975) avait évoqué une présence assez fréquente de concrétions ferrugineuses souvent indurées à moins de 40 cm, et même quelques fois en surface. De plus, il ressort des analyses effectuées sur plusieurs échantillons que les textures en présence sont argileuse, argilo-limoneuse, limoneuse, sablo-limoneuse, et sableuse (ADRAO, 1975). Il semble fort que ces textures n'aient pas véritablement varié au cours des ans, vu la confirmation de ces résultats par la mission néerlandaise de 1986, à travers des études postérieures. D'autres études plus récentes (Nebié, 1995) qui rapportent 52 cm comme moyenne de profondeur des sols de la plaine, attestent en outre qu'à 66%, ces sols ont été classés comme sols à textures légères à moyennes. Il s'agirait de sols sablo-limoneux pour 6%, de sols sablo-argilo-limoneux pour 38%, et de sols limoneux pour 22%. Ces trois groupes de sol posent deux types de problème. Le premier a trait à leur tassement, phénomène d'autant accentué que les sols sont pauvres en matière organique (Nebié, 1995). Il s'en suit une réduction du système racinaire et par là même une mauvaise alimentation hydrique et minérale de la plante. Le deuxième problème est celui de leur forte infiltration, et partant celui des fortes doses d'irrigation pour la satisfaction des besoins hydriques du riz. Dès lors, se trouve posé le problème de la lixiviation des éléments nutritifs (Nebié, 1995), et plus généralement celui de la fertilité même des sols.

1.1.2.3. Evolution des caractéristiques chimiques des sols

Cette évolution est d'autant importante qu'en général, lorsqu'on évoque la fertilité d'un sol, on pense a priori à sa richesse chimique. Mais au delà de cette considération en partie justifiée, mais quelque peu hâtive, se pose aussi la question de la disponibilité des substances nutritives, du potentiel d'hydrogène (pH) des sols et de la matière organique dont elle dépend (Soltner, 1986). Très tôt déjà, l'ADRAO (1975) reconnaissait d'une façon générale que le fait d'avoir aménagé des terres se situant en dehors de la vallée proprement dite du Kou, a souvent conduit à se contenter de sols à fertilité plutôt médiocre. L'on présumait alors que seulement 50% de la superficie aménagée sont réellement à vocation rizicole. Vingt ans plus tard, une nouvelle analyse laisse entrevoir des indices

d'inquiétude quant à la baisse du niveau de fertilité des sols au fil des ans. C'est ce que rapportent les conclusions de Nébié (1995), alors qu'il étudiait les facteurs agro-pédologiques affectant les rendements du riz irrigué dans la plaine. L'auteur fait également cas de faibles à très faibles teneurs des sols en matière organique, situation qu'il impute à la longue période de mise en culture du périmètre, mais surtout au très faible niveau d'apport organique. Nébié a par ailleurs signalé des signes de toxicité ferreuse, de même qu'une pauvreté des horizons rhizosphériques en azote. Le niveau de potassium révèle des risques sérieux de carence, suite aux exportations des pailles et des grains de riz. L'ensemble se conjugue avec une baisse de la capacité d'échange cationique, et l'opération de chaulage menée en 1986 par la mission néerlandaise témoigne d'une acidification progressive des sols consécutive à l'utilisation quasi exclusive de fumure minérale.

L1.3. FERTILISATION

Véritablement, les spéculations telles que le riz n'ont jamais bénéficié de formulations d'engrais qui leur soient vouées et qui répondent donc à la spécificité de leurs besoins. Jusque là, les fumures associées à cette céréale ont été formulées à partir d'engrais minéraux généralement destinés au coton. Ainsi, l'engrais NPK dosant 14 N-23 P₂O₅-14 K₂O-6S-1B a été un élément clé de telles formules adaptatives. Telles que préconisées par la recherche, celles-ci faisaient état de 300 kg/ha de cet engrais, et de 200 kg/ha d'urée respectivement au repiquage et au tallage (CERCI, 1979). Sawadogo (1986) rapporte des doses un peu plus faibles, à savoir 90 et 120 kg N/ha respectivement en saisons humide et sèche, additionnées de 60 kg P₂O₅/ha et de 40 kg K₂O/ha. Une autre différence réside en le fractionnement de la dose d'azote, à raison des 2/3 en fumure de fond, et le 1/3 en fumure de couverture à l'initiation paniculaire. C'est dire qu'assez rapidement, la nécessité de réduire et de fractionner la dose de l'urée a prévalu, sans doute pour répondre plus efficacement à des besoins nutritionnelles plutôt étalés dans le temps, mais aussi pour minimiser le gaspillage inhérents aux phénomènes de dénitrification, de volatilisation et de lixiviation de l'azote.

Des recommandations plus récentes évoquées (Nébié, 1995) font état de 300 kg/ha de NPK au repiquage, et 100 kg/ha d'urée à la campagne hivernale, dont le 1/3 est apporté au tallage et les 2/3 à l'initiation paniculaire. En contre-saison, l'urée est apportée à la dose de 150 kg/ha. Traduites en éléments fertilisants, ces dernières recommandations encore en vigueur, donnent lieu à 88-30-35 unités de N-P-K en saison humide, et à 111-30-35 unités de N-P-K en contre-saison. Ces valeurs calculées sur la base de " l'engrais coton " 14-23-14,

subissent diverses fluctuations chaque fois que cet engrais venait à changer de formulation. Les éléments fertilisants apportés par les paysans de la vallée du Kou ont certes souvent fluctué sous le coup de ces changements d'engrais, mais c'est beaucoup plus de l'insuffisance des doses appliquées que provient les plus grandes variations (Wopereis *et al.*, sous presse).

Le problème n'est pas nouveau bien entendu, mais les proportions le sont : depuis la suppression de la subvention sur les intrants en 1988, et plus récemment depuis la dévaluation du franc CFA (Gerner et Mokwunye, 1995), les difficultés des producteurs à appliquer pleinement les quantités requises constituent une contrainte de plus en plus cruciale qui mérite qu'on s'y appesantisse.

Cela est d'autant nécessaire qu'à plusieurs égards, des voix se sont élevées pour dénoncer l'inadaptation de la fumure en vigueur à la vallée du Kou : pour Bado (1998) par exemple, les besoins en phosphore du riz pour un objectif optimal de rendement n'y seraient que de 30 kg P_2O_5 /ha/campagne à la vallée du Kou. Pour le potassium et le soufre, les exigences y seraient de 30 kg K_2O /ha/campagne et de 7,5 kg/ha/campagne respectivement. En confrontant ces valeurs à celles recommandées, à savoir 69 kg P_2O_5 /ha/campagne, 42 kg K_2O /ha/campagne, et 18 kg S/ha/campagne, l'auteur fait la démonstration d'une nécessaire révision des formules en vigueur. Ces formules qui, au yeux de Wopereis *et al.* (1998) accorderaient trop d'importance au soufre, mais aussi au potassium et au phosphore dont les sols seraient déjà relativement bien fournis.

Poursuivant leurs propos, ces auteurs signalent un faible taux de recouvrement sur l'azote en contre-saison, malgré les fortes doses appliquées. Il est de 20 %, contre 40 % pour une bien moindre dose d'urée en saison hivernale. Cette situation est source de gaspillage et laisse entrevoir aussi la nécessité d'une formule plus adaptée.

On pourrait poursuivre la liste pour évoquer le risque d'acidification qu'une telle formule fait courir aux sols. En témoignent les observations de la mission néerlandaise qui ont conduit à un chaulage généralisé des sols en 1986. Etant acquis que l'assimilabilité des éléments nutritifs dépend du pH du sol, et qu'elle est meilleure aux environs de la neutralité (divers auteurs cités par Baeyens, 1967), il convient de repenser les recommandations en cours. En somme, et pour reprendre une expression chère à Wopereis *et al.* (1998), la fumure en vigueur sur le périmètre semble inadaptée.

Face à toutes ces réalités, les besoins de recherche apparaissent pressants. Des investigations ont justement lieu dans ce sens, qui militent entre autres en faveur de l'introduction de l'*Azolla* comme source d'azote pour le riz. Des méthodes efficaces de multiplication et de production massive de l'*Azolla pinnata* local ont d'abord été initiées (Sanon, 1985), avant que le problème de parasitisme et la productivité biomassique satisfaisante ne fassent retenir quatre souches exogènes : MI69, MI69 ?, CA104, et CA195 (Sourwema, 1987). L'effet bienfaiteur de cette légumineuse sur la production rizicole avait déjà été reconnu à cette époque de décennie 1980. Les travaux de Ouattara et Van Hove (1999) semblent confirmer ces résultats : les paramètres agronomiques tels que le tallage, le remplissage des grains, et le rendement paddy étant meilleurs en présence d'*Azolla*.

De plus, l'effet herbicide de la plante paraît confirmé, cependant qu'un effet insecticide semble se préciser. Malheureusement, l'adoption de l'azolliculture implique un surcroît de travail encore trop élevé. Cette situation découle de l'éloignement du lieu de collecte de l'*Azolla*, de l'inefficacité du moyen manuel de collecte, et du manque de transport adéquat. Il faut dire que l'*Azolla* est apporté par enfouissement en fumure de fond, à la dose de 20 000 kg/ha de produit frais; les quantités non enfouies, 5 à 10 %, se développant sont enfouies deux ou trois fois au cours de la végétation du riz.

Comme autre investigation en cours, il faut mentionner les tests au diammonium phosphate (DAP) menés de façon participative en milieu réel. Le DAP est un engrais binaire dosant 18-46 de N-P dont l'incidence sur le rendement est prometteuse. Toutefois, les études pédo-analytiques portant sur l'évolution de la fertilité des sols bonifiés au DAP font encore défaut. Des études connexes relatives au suivi des paramètres agronomiques sont également attendues. Notons que la formule de fumure au DAP est une combinaison de DAP, d'urée et de KCl de façon à obtenir grossièrement les mêmes quantités d'éléments fertilisants que la fumure classique à base de NPK et d'urée. En réalité, les sources de potassium sont variables: sulfate de potassium ou chlorure de potassium toutes les deux à trois campagnes; fumure organique tous les deux ans. Les recommandations, penchant plus pour la matière organique, peuvent se résumer par la formule de 5 t/ha de fumier tous les deux ans, 150 kg/ha d'urée dont la moitié au 15^{ème} jour après repiquage, et l'autre moitié à l'initiation paniculaire (PSSA, 1999).

Dans ce domaine ainsi investi de la fertilisation, il convient à présent de faire mention des acquis vraisemblablement orientés vers une utilisation beaucoup plus massive des ressources naturelles locales, notamment les phosphates bruts.

I.2. LES PHOSPHATES NATURELS DU BURKINA FASO

Les phosphates naturels du Burkina ont été découverts en 1976 à Kodjari, dans la région Est du Burkina Faso, vers Diapaga, province de la Tapoa. Il s'agit de la plus importante réserve de phosphate du pays, avec 65 millions de tonnes de minerai à ciel ouvert (Ouédraogo, 1983), dont la découverte a suscité un réel intérêt quant à son utilisation dans l'agriculture voltaïque d'alors. De nombreuses études de caractérisations chimique et minéralogique ont aussitôt été entreprises dès 1977 par le GERDAT à Montpellier, pour permettre une meilleure connaissance de ces phosphates et donner des indications pour l'exploitation et l'enrichissement industriel (Bikienga, 1980). Une analyse plus récente a été faite dans les laboratoires de THORTON à Tampa en Floride (USA) sur la composition minéralogique du produit. Sur le plan agronomique, des essais ont aussi été réalisés en milieu contrôlé comme au champ, où les effets phytophysiologiques des phosphates de Kodjari ont été comparés à ceux des superphosphates. Tous ces efforts ont eu pour but la détermination des doses et des conditions pédoclimatiques de l'utilisation de ces phosphates. Ainsi des études menées par l'IRAT à Saria et à Farako-bâ par l'ICRISAT en 1979, par le projet phosphate en 1977, par la SAFGRAD/FSU en 1979, par l'IRCT à partir de 1975, par le programme engrais du FAO, par la SOSUHV en 1980 (Bikienga *et al.*, 1981) ont porté sur le burkinaphosphate (BP). Nous vous proposons ici un aperçu de ces nombreuses années de recherche.

I.2.1. CHIMIE ET MINERALOGIE DU BURKINAPHOSPHATE

La composition minéralogique du BP déterminée par diffractométrie aux rayons X donne 63,7% de francolite, 27,2% de quartz et 9,1% non identifié (Compaoré *et al.*, 1997). Selon Chien (1977), la formule empirique de l'apatite de fluor du BP est la suivante : $C_{9,87} Na_{0,09} Mg_{0,04} (PO_4)_{5,62} (CO_3)_{0,38} F_{2,15}$. En fait, le produit est beaucoup plus complexe que cela et se trouve marqué par la présence de nombreux autres composés (tableau 1).

Tableau 1 : Composition chimique moyenne du burkinaphosphate.

HUMIDITE	0,89%
<i>Analyse des matières sèches</i>	<i>Teneur en pourcentage</i>
Anhydride phosphorique P ₂ O ₅	25,34
Oxyde de fer (Fe ₂ O ₃) soluble dans HCl	03,42
Oxyde d'aluminium (Al ₂ O ₃) soluble dans HCl	03,8
Chaux (CaO)	34,45
Oxyde de magnésium (MgO)	00,27
Anhydride carbonique (CO ₂)	01,00
Matière organique (C)	00,09
Fluor (F)	02,54
Oxyde de potassium (K ₂ O)	00,23
Matière siliceuse (SiO ₂)	26,24
Oxyde de sodium (Na ₂ O)	00,11
Soufre (S)	00,04

Source : Bado (1991). Bikienga *et al.* (1981). BUNASOL (1985)

Il ressort plusieurs autres études que dans des solutions telles que le citrateAOAC, l'acide citrique, l'acide formique et l'eau, la solubilité du phosphate serait faible (Bikienga, 1980, Compaoré *et al.*, 1997) (tableau 2). Il s'agit d'un phosphate tricalcique, de nature apatitique et donc fortement cristallisé. Il a été signalé un rapport CO₃/PO₄ de 0,093 dans l'apatite, partie utile du minerai (Bikienga *et al.*, 1981; BUNASOLS, 1985), et une solubilisation annuelle de 30% (Ouédraogo, 1983).

Tableau 2 : Solubilité du phosphate naturel dans quelques solvants conventionnels.

SOLVANT	SOLUBILITE (%)
CitrateAOAC	08,02
Acide citrique	24,55
Acide formique	48,48
Eau	00,03

Source : Bado, 1991 ; BUNASOL, 1985, Compaoré *et al.*, 1997

Ainsi largement défavorisé par la "médiocrité" intrinsèque d'une telle qualité, le burkinaphosphate a souvent révélé une faible réactivité dans le sol; due particulièrement à la genèse même du minerai, et à sa composition minéralogique marquée par la présence d'éléments pénalisants tels que le fer, l'aluminium et la silice (Koura, 1988; Ouédraogo,

1990). Cependant, il existe des données qui témoignent bien de l'existence d'une interaction positive avec les éléments du sol. Les facteurs édaphiques et climatiques favorisant la dissolution, donc l'efficacité du burkinaphosphate ont été identifiés.

1.2.2. FACTEURS DE SOLUBILISATION DU BURKINAPHOSPHATE

La solubilisation est un processus d'altération biochimique au cours duquel les éléments constitutifs des minéraux primaires des roches sont libérés à l'état soluble ou pseudosoluble (Lozet et Mathieu, 1990).

Des facteurs favorisant cette altération, on peut retenir en premier lieu l'acidité du sol. En effet, les sols acides sont réputés favorables à une bonne efficacité des phosphates bruts (Mey *et al.*, 1986 ; Baeyens, 1967 ; Soltner, 1986). Cette assertion a été confirmée avec le burkinaphosphate par certains auteurs tels que Bado (1985), Bikienga (1980), etc. Dans le même ordre d'idée, Koura (1988) a rapporté une bonne dissolution des phosphates à partir du pH 4,3 , tandis que Compaoré *et al.*(1997) semblent admettre un pH 6,2 comme limite maximale supérieure permettant d'observer une valeur fertilisante significative du burkinaphosphate (BP).

Comme autre facteur, nous avons la matière organique (MO) pour laquelle il a été noté que l'association BP+MO compostée ou en incubation dans le sol, fournissait beaucoup plus de quantité de phosphore assimilable que le BP utilisé seul (Bado, 1985). L'efficacité d'un tel mélange, poursuit l'auteur, augmente au fil du temps; ce contrairement à la formule classique à base d'engrais NPK et d'urée.

Par ailleurs, la finesse du broyage se présente comme un paramètre clé dans la solubilisation des phosphates naturels (ADRAO, 1998; Soltner, 1986). Koura (1988) n'en croit pas moins lorsqu'il soutient que l'effet du BP croît avec des granulométries de plus en plus faibles : il est de l'ordre de 17% par rapport au triple superphosphate (TSP) pour des granulométries comprises entre 0,5 et 0,1 μm . Ce fait est imputable d'une part à la réduction des forces de cohésion " séquestrant " les molécules phosphoriques au sein du minerai, et d'autre part à l'augmentation de la surface de contact du broyat, donc de la réactivité avec l'eau et les divers produits solubilisants du sol (Lompo *et al.*, 1995).

Le régime pluviométrique aurait également une incidence sur l'efficacité du BP. Au regard des tests multiloaux réalisés à cet effet, Koura (1988), Ouédraogo (1990), Bikienga *et al.* (1981) s'accordent sur une pluviométrie minimale de 800 mm comme

condition pour une bonne dissolution du minerai. Lorsque celle-ci baisse de 800 à 600 mm, soutiennent ces auteurs, seuls les sols hydromorphes généralement plus humides, permettent d'obtenir de bons rendements. Des tendances similaires ont été rapportées par Soltner (1986) avec d'autres phosphates naturels.

1.2.3. BURKINAPHOSPHATE ET FERTILISATION

Face à la faible solubilisation du BP, des traitements industriels ont été initiés pour pallier à cette insuffisance. A partir de ce phosphate, alors appelé upper volta 1, des processus d'acidulation partielle ont été entrepris. L'opération consiste à attaquer le minerai par une certaine quantité, en général la moitié, de la quantité d'acide sulfurique normalement requise pour aboutir au superphosphate simple, considéré comme phosphate soluble. Le produit ainsi obtenu fût baptisé upper volta 42 ou UV 42.

L'adjonction de soufre minéral à l'UV 1 dans des proportions P/S = 1/0,66 ,a également été essayée, et le produit obtenu fût appelé UV 5 (Hien, 1982). Une fois appliqué au sol, des microorganismes telluriques permettront l'oxydation du soufre et la formation d'acide sulfurique qui attaquera le phosphate naturel pour en libérer les ions phosphoriques assimilables par la plante (Bikienga, 1980). Ce phénomène d'acidulation "in situ" fut aussi rapporté par Mey *et al.* (1986) lors de l'incubation dans le sol d'un phosphate naturel traité microbiologiquement aux thiobactériales.

Les résultats obtenus sur des cultures exondées telles que l'arachide, le coton, le mil et le sorgho ont montré une équivalence, voire une supériorité de l'UV 42 sur le triple superphosphate (TSP) dans certains cas. Des recommandations ont également été faites pour l'utilisation des UV 1 et 5 comme fumure annuelle (Ouédraogo, 1983). D'autres conclusions encore ont préconisé comme fumure annuelle un mélange fait de phosphate soluble pour moitié, et de phosphate tricalcique pour l'autre moitié (Bikienga, 1980). Dans tous les cas, les doses préconisées ont été de 400 kg/ha de phosphate naturel en phosphatage de fond la première année; et de 100 kg/ha de UV 42 en fumure d'entretien. Toute fois, l'UV 42 peut être substitué par un mélange de UV 1 et de TSP à raison de 50 kg/ha pour chacun des types de phosphate (Koura, 1988).

Dans les conditions des sols hydromorphes de la vallée du kou, Bado (1991) a jugé non nécessaire le traitement chimique du BP. D'autant plus qu'utilisé tel, ses

performances atteignent déjà celles du TSP, et les dépassent parfois même aux fortes doses (Bado, 1991; Ouédraogo, 1990). On peut retenir de ces études que le produit est applicable aux doses de 550 kg/ha en fumure de fond, et de 250 kg/ha en fumure annuelle. Mais d'une façon générale, il a été constaté que sur les sols hydromorphes, l'action du BP était moins spectaculaire que sur les sols de plateau, plus lessivés et plus carencés. Ce qui amena Bado *et al.* (1999) à lier la réponse des cultures aux engrais phosphatés beaucoup plus à la nature du sol qu'au type de culture.

D'un autre côté, le BP s'est maintes fois illustré par son effet résiduel indéniable que lui confère sa lente solubilisation (Smaling, 1995; Koura, 1988; Bikienga, 1980). C'est du reste ce qui explique que sa rentabilité économique se renforce avec le temps, et que les doses nécessaires semblent s'amenuiser au fil des campagnes; contrairement au triple superphosphate (Bado, 1991). Malgré son importance dans l'évaluation agronomique et économique de l'utilisation des phosphates bruts, cet aspect de rémanence est bien souvent négligé, et les calculs se font généralement sur la base d'une seule campagne agricole (Smaling, 1995).

Par ailleurs, il a été noté sur les parcelles traitées au BP une amélioration sensible de la nutrition potassique, très importante pour le riz. L'absorption des éléments tels que le cuivre et le zinc, dont le BP est dépourvu, se trouve également améliorée. D'autre part, aucun effet notable n'a été relevé sur la nutrition du calcium et du magnésium, ou encore sur celle du phosphore lui-même. Toujours est-il qu'à la lumière de tous ses travaux, Bado (1998) est arrivé à la conclusion que le BP peut bien répondre aux besoins en phosphore du riz irrigué à la vallée du Kou.

Cependant, des inconnues subsistent toujours quant aux performances réelles du produit en milieu paysan, une fois sorti des "laboratoires". Il en est de même pour les contraintes éventuelles qui pourraient en entraver l'adoption par le monde rural. Aussi, la rentabilité économique et autres intérêts liés à l'usage du produit demeurent assez théoriques dans l'ensemble et restent donc à être prouvés aux producteurs dans un "langage" qui leur soit plus expressif: les tests participatifs en milieu paysan.

C'est essentiellement en cela que se situe l'intérêt de notre travail intitulé **"Etude d'une fumure à base du burkinaphosphate sur le riz irrigué à la vallée du Kou, dans l'Ouest du Burkina Faso"**.

Chapitre II :
MATERIELS ET METHODES

II.1. ZONE D'ETUDE

Le périmètre rizicole de la vallée du Kou est situé à 30 km au nord-ouest de Bobo-Dioulasso, à une latitude de 11°22'N, une longitude de 04°22'W, et une altitude de 300 m. Il couvre une superficie de 1260 ha, et est mise en valeur depuis 1970. Ce périmètre appartient au type d'aménagement par dérivation au fil de l'eau. Il comprend un vaste réseau hydraulique fait d'un canal d'amenée de 11 km, d'un canal principal de même longueur ceinturant la rizière, de neuf canaux secondaires de 16,2 km, de 91 canaux tertiaires de 49 km de long, de canaux quaternaires et d'arroseurs. L'eau circule dans les canaux par simple gravitation avec des débits moyens respectifs de 5,5, 2,5, 0,4 et de 0,25 m³/s (Nébie, 1995). Les eaux de drainage sont recueillies successivement par des drains quaternaires, tertiaires, secondaires et principaux qui les acheminent vers le lac d'évacuation, puis en cas d'excès, vers l'aval du lit de la rivière irrigatrice du Kou.

II.1.1. LE CLIMAT

Il est de type sud-soudanien (Guinko, 1984), et est caractérisé par une alternance d'une saison pluvieuse (monomodale), de mai à octobre et d'une saison sèche de novembre à avril. De 1989 à 1999, les hauteurs d'eau annuelles ont varié entre 759 mm et 1145 mm, avec une moyenne annuelle de 950mm (Figure 1).

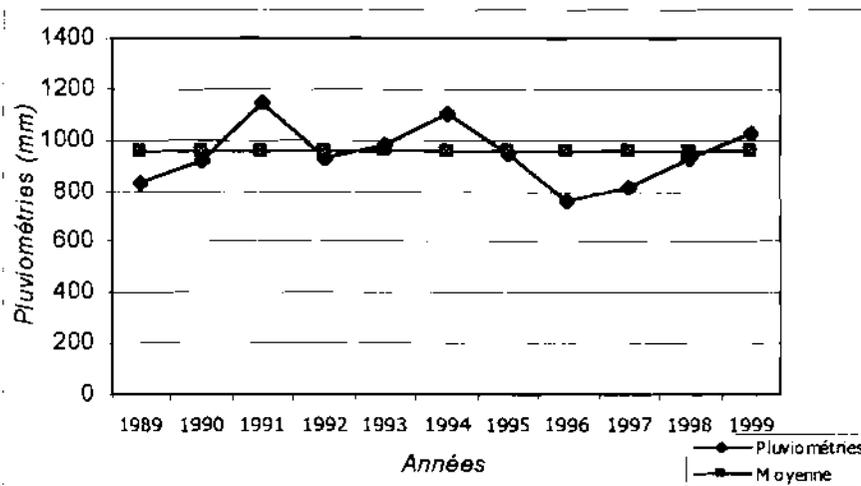


Figure 1 : Pluviométries annuelles de la décennie 1990-1999 - Vallée du Kou.

Source des données : Station INERA-Farako-bâ: données météorologiques.

La température journalière est d'environ 18°C en période froide et de 37° en période chaude (Tapsoba, 1997). Les minima absolues de 10°C s'observent à la troisième décennie du mois de décembre, cependant que les maxima de 39°C correspondent aux mois de mars et de mai.

L'humidité relative fluctue tout aussi fortement dans l'année : de plus de 70 % de juillet à octobre, elle descend jusqu'à près de 30 % en janvier-février (Ouédraogo, 1990).

L'insolation moyenne annuelle est de 8h/j, tandis que l'évaporation moyenne vaut 2882 mm. Cette évaporation est de 5,7 mm/j en saison sèche contre 2,8mm/j en août (Ouédraogo, 1990).

En dépit de ces nombreuses fluctuations, une double culture annuelle du riz est toujours possible, pour peu que l'on ait une bonne maîtrise et une bonne gestion de l'eau.

II.1.2.LA VEGETATION

La description de la zone semi-aride au sud du Sahara attribue à la région de Bobo-Dioulasso une végétation naturelle de type savane arbustive et arborée. Des forêts claires sont enregistrées aux abords des bas-fonds. La phytogéographie décrite par Guinko (1984) classe la vallée du Kou dans le secteur soudanien méridional.

Les formations végétales de la strate boisée se composent essentiellement d'essences telles que : *Parkia biglobosa*, *Detarium microcarpum*, *Sclerocarya birrea*, *Vitellaria paradoxa*, *Piliostigma thommingii*, *Butyrospermum parkii*, *Tamarindus indica*.

Le tapis graminéen, lui se compose d'espèces telles que *Andropogon spp*, *Pennisetum pedicellatum*, *Eragrostis tremula* (Guinko, 1984).

II.1.3. LES SOLS

La zone ouest du Burkina Faso comporte essentiellement des sols ferrugineux tropicaux peu lessivés et des sols hydromorphes à pseudogley dans les bas-fonds (BUNASOLS, 1985).

Aussi, les sols de la vallée du Kou ont-ils été recensés comme ferrugineux tropicaux, très hydromorphes par endroits. De texture limono-sableuse à argilo-limoneuse, ils sont marqués par un lessivage actif des éléments nutritifs, causant parfois des problèmes de fertilité (Bado, 1991). Ce sont des sols acides (à pH en eau variant

entre 5,5 et 6,5), avec une concentration en bases échangeables relativement élevée (Bado, 1990, 1991 ; Ouédraogo, 1990).

II.2. MATERIEL

II.2.1. ENGRAIS

II.2.1.1. Le burkinaphosphate

C'est un produit issu du broyage des roches phosphatées de Kodjari, d'où son nom de phosphate de Kodjari. Il s'agit donc d'un produit brut, qui n'a reçu comme traitement que le broyage à une finesse inférieure à 90µm. C'est à partir de ces phosphates bruts que les industries d'engrais produisent les engrais phosphatés solubles par une attaque aux acides sulfurique et phosphorique.

Vis-à-vis de ces phosphates solubles, le burkinaphosphate (BP) est de loin le moins coûteux. Malheureusement, il s'avère peu soluble et donc moins efficace pour les cultures

II.2.1.2. Le triple superphosphate

C'est l'engrais phosphaté produit à partir des phosphates bruts par une attaque à l'acide phosphorique. L'acide phosphorique ainsi utilisé est produit à l'avance par l'action de l'acide sulfurique sur le phosphate brut (Bikienga, 1980). Eu égard à ce procédé dit humide de production de l'acide phosphorique, certains auteurs n'hésitent pas à parler d'une double attaque des minerais bruts aux acides sulfurique et orthophosphorique pour évoquer la production du TSP. Ce dernier est caractérisé par une très bonne solubilité, comparé aux phosphates bruts dont il dérive (Tableau 3). Mieux, il sert très souvent de référence à l'évaluation de la solubilité et partant, de l'efficacité des phosphates bruts ou partiellement acidulés.

Tableau 3 : Tableau comparatif du TSP et du BP

		TSP (20,6% de P)	BP (11,2% de P)
Acide Phosphorique	Soluble dans l'eau	39,7	00,16
	Soluble dans le citrate (AOAC)	06,26	01,03
	P ₂ O ₅ Total	043,80	25,38
Soufre (%)	S Total	01,53	00,02
Calcium (%)	Ca Total	15,70	30,2

Source : Compaoré *et al.* (1997) ; Ouédraogo (1983).

III.1. ESSAI EN STATION

III.1.1. RESULTATS

III.1.1.1. Effets des types de phosphate sur les paramètres de rendement

Au regard du tableau 7, on retient que d'une façon générale, les deux types de phosphate ne sont pas significativement différents au risque 5%. Les variables mesurées évoluent indépendamment du type de phosphate.

Tableau 7: Effet comparatif du BP et du TSP utilisés à des doses identiques et croissantes de P_2O_5 sur riz irrigué à la vallée du Kou- Saison humide 1999.

Types de Phosphate	Rendement (kg/ha)	Nombre de talles/m ²
BP	2371,55	437
TSP	2543,95	468
CV (%)	15,7	10,4
Test FISHER	NS	NS
Probabilité	0,1745	0,0522

NB: $\alpha = 5\%$;

NS = non significatif ($P < 0,05$) ;

CV = coefficient de variation.

III.1.1.2. Effets des doses de phosphore sur les paramètres de rendement

Pour chaque type de phosphate, nous avons évalué l'effet des doses croissantes de P_2O_5 sur les paramètres agronomiques. Les résultats de cette appréciation sont donnés par les tableaux 8 et 9 suivants, représentant les cas respectifs du triple superphosphate et du burkinaphosphate.

Tableau 8 : Effet des doses croissantes de P_2O_5 sous forme de triple superphosphate sur les rendements et le nombre de talles par unité de surface.

Dose de P_2O_5 (kg/ha)	Rendement (kg/ha)	Nombre de talles/m ²
Témoin absolu	2453,75	403
0	2523,25	436
25	2407,50	491
50	2589,75	490
100	2745,50	520
CV (%)	18,30	13,10
Test FISHER	NS	NS
Probabilité	0,8582	0,1117

NB: $\alpha = 5\%$;

NS = non significatif ($P < 0,05$) ;

CV = coefficient de variation.

Tableau 9: Effet des doses croissantes de P_2O_5 sous forme de burkinaphosphate sur le rendement et le nombre de talles par unité de surface.

Dose de P_2O_5 (kg/ha)	Rendement (kg/ha)	Nombre de talles/m ²
Témoin absolu	2453,75	403
0	2523,25	436
25	2169,75	456
50	2361,50	423
100	2349,50	447
CV (%)	15,10	16,00
Test FISHER	NS	NS
Probabilité	0,7040	0,8497

NB: $\alpha = 5\%$;

NS = non significatif ($P < 0,05$) ;

CV = coefficient de variation.

Il en ressort un effet non significatif des différentes doses appliquées sur les rendements et sur le nombre de talles.

III.1.2. DISCUSSIONS

D'une façon générale, les rendements ne révèlent pas de différences significatives entre les types de phosphate, encore moins entre les doses de d'anhydride phosphorique pour chaque type de phosphate. Manifestement, l'apport du phosphore n'a pas eu d'incidence sur la culture. Alors qu'un tel résultat peut s'avérer compréhensif pour le burkinaphosphate (BP), eu égard à sa faible solubilité (cf. tableau 2), il suscite bien d'interrogations pour le triple superphosphate (TSP). Pour certains auteurs (Hingston *et al.*, 1967 ; 1968 ; 1972 ; Rajan *et al.*, 1974 ; Ryden *et al.*, 1977 a et b) dont Boyer (1982) se fait l'écho, la cause de ce phénomène réside dans l'élévation du pouvoir fixateur des sols quand le milieu est bien fourni en phosphore. Il y aurait dans ce cas l'entrée en jeu d'une adsorption chimique additionnelle, avec cassure des ponts oxhydyles qui relie deux à deux les atomes d'aluminium par des liaisons du type Al-OH-Al ; ce qui aurait pour résultat la création de nouveaux sites de fixation. Mais la lenteur de réalisation d'un tel phénomène accrédite mieux la thèse de la fixation du P par les colloïdes électropositifs (les hydroxydes de fer et d'alumine), l'humus et les argiles. Il a été noté en effet, que l'intensité de la rétention dépend de la minéralogie des argiles en présence. D'après Sanchez (1976), les argiles de type 1:1 du genre kaolinite, du reste très répandues dans la plaine du Kou (Bado, 1990 citant Sédogo, 1981), possèdent un pouvoir de fixation plus élevé que les argiles de type 2:1. Les

sols qui en contiennent en forte proportion, poursuit Sanchez (1976), peuvent fixer jusqu'à 75% du P apporté. Mais cette thèse semble peu plausible pour expliquer la totale absence de réponse aux apports de phosphore, si on tient compte de l'établissement pour chaque nutriment d'un équilibre entre les quantités adsorbées et celles dissoutes dans la solution du sol; équilibre qui imposerait au P une désorption à partir des sites d'échange colloïdaux vers la solution du sol, si celle-ci venait à s'en appauvrir à l'issue des prélèvements de la plante par exemple. Peu plausible aussi semble être l'immobilisation du phosphore sous forme de corps microbien, au regard de la faiblesse relative de l'activité microbienne dans les sols inondés

II.2.1.3. L'engrais NPK

C'est un engrais ternaire, c'est à dire une fumure apportant à la plante au moins les trois éléments fertilisants majeurs : l'azote, le phosphore et le potassium. C'est l'engrais "classique" communément utilisé par les riziculteurs.

L'engrais NPK peut être formulé de plusieurs manières en fonction de doses relatives qu'on veut attribuer à chaque élément nutritif. Dans notre cas, il était dosé à 12N-20P₂O₅-12K₂O.

II. 2. 2. LE MATERIEL VEGETAL

Il s'agit d'une variété de l'espèce de riz *Orizae sativa*, type indica : la FKR 14 originaire de l'Inde et introduite en 1976. Elle a un cycle semis-épiaison de 95 jours. Le tallage est estimé bon et le potentiel de rendement oscille entre 4 et 7 tonnes/hectare. C'est un cultivar qui résiste assez bien à la pyriculariose et à la verse, et bien à l'égrenage.

II. 3. METHODOLOGIE

Le travail a été réalisé à deux niveaux : un essai en station et un test en milieu paysan.

II.3.1. L'ESSAI EN STATION

Il s'agit de déterminer et de comparer les doses maximales agronomiques et les doses optimales économiques de phosphore correspondant à deux types de fumure : l'un à base de burkinaphosphate (BP), d'urée et de chlorure de potassium, et l'autre à base de triple superphosphate (TSP), d'urée et de chlorure de potassium. C'est donc le lieu d'éprouver l'efficacité agronomique relative du BP, par rapport au TSP considéré comme engrais soluble

d'autres termes, en dehors du phosphore, ni l'azote, ni le potassium apportés n'ont eu une incidence statistiquement notable sur les rendements. A l'instar de Bado (1990) sur un site adjacent, l'effet de jachère aurait pu être évoqué comme explication valable si les rendements n'avaient pas été aussi faibles : 2,45 tonnes/ha en moyenne. Visiblement, quel(s) que facteur(s) limitant(s) a (ont) affecté les rendements dans le sens de la baisse à un ou plusieurs niveaux. Ainsi, s'il est vrai que de telles performances sont vraisemblablement liées aux fortes attaques des *Nymphulas depunctalis* intervenues lors du tallage actif, il n' en demeure pas moins qu'il puisse s'agir aussi de l'âge assez élevé (45jours) des plants au repiquage. Avec un séjour quasiment deux fois plus long en pépinière par rapport aux recommandations de 25 jours du CERIC (1979), il y a vraisemblablement eu réduction du tallage utile, prépondérant dans l'expression du rendement (Luh, 1980).

Une autre des causes possibles est la toxicité ferreuse observée sur le site expérimental et dont la fréquence sur le périmètre avait déjà été rapportée par Bado (1991) et Nebié (1995). L'abondance des gleys, donc du fer ferreux observés sur le terrain va en droite ligne avec cette éventualité. Il n'est pas exclu que dans ces conditions, l'excès de fer rendu plus soluble par la réduction, deviennent néfaste à la plante.

Enfin, il n'est pas improbable qu'il s'agisse du fruit d'une lixiviation des éléments N et K beaucoup trop labiles ; lixiviation favorisée par le caractère filtrant du sol du site et par l'abondance des pluies le long de la campagne (cf. annexe 2). Selon les éléments cartographiques des sols de la mission néerlandaise (1986), il s'agirait d'un sol à fraction sableuse relativement élevée. Mais en aucun cas on ne saurait mettre en cause la lixiviation du phosphore, tant sa diffusion est jugée faible dans les sols (Falisse et Lambert, 1994).

Dans tous les cas, le fait que l'effet phosphate ait été masqué a rendu superflu toute opération comparative sérieuse entre les deux types de phosphate. Il en est de même pour les différentes doses optimales propres à chaque phosphate, eu égard à l'absence de différence significative relevée au niveau des doses de P_2O_5 .

III.2. TEST EN MILIEU PAYSAN

III.2.1 SAISON HUMIDE 1999

III.2.1.1. RESULTATS.

III.2.1.1.1. Effets comparatifs des types de fumure sur quelques paramètres agronomiques.

Les résultats moyens globaux des variables agronomiques par type de fumure sont consignés dans le tableau 10.

Tableau 10: Effets moyens des deux fumures BP et NPK sur le rendement paddy et les paramètres de rendement-Saison humide 1999.

FUMURES	RENDEMENTS (kg/ha)	NOMBRE DE PANICULES/m ²	POIDS DE 1000 grains (mg)	NOMBRE DE TALLES/m ²	HAUTEURS PLANTS (cm)
BP	4762	250	23930	312	86
NPK	5588	306	24599	404	91
T test	HS	HS	NS	HS	NS
Probabilité	0,0075	0,0054	0,094	0,0031	0,0556

NB: $\alpha = 5\%$:

NS = non significatif ($P < 0,05$) ;

HS = hautement significatif ($P < 0,01$).

CV = coefficient de variation.

Il ressort de ce tableau une différence hautement significative entre les rendements issus des deux fumures. Il en est de même pour le nombre de talles et de panicules par unité de surface. Par contre, sur le poids des grains et la hauteur des plants, il n'y a pas eu de différence statistiquement significative. Nous avons complété cette analyse par une autre analyse où un certain nombre de facteurs pertinents ont été introduits en tant que source de variation à même d'affecter significativement le niveau des rendements et de leurs composantes. Il s'agit de la texture du sol, de l'apport ou non de fumier, et l'effet bloc encore appelé "effet paysan". A l'image de la précédente, nous y avons considéré les données obtenues chez chaque paysan comme celles d'une répétition du même dispositif. Les tableaux 11, 12, 13, et 14 viennent à propos donner les conclusions de cette analyse.

Tableau 11 : Analyse de variance relative aux effets fumures, sols, fumier, et paysans (blocs) sur les rendements paddy-Saison humide 1999.

FACTEURS	SOMME DES CARRES	DDL	CARRES MOYENS	F CALCULE	P
Fumures	6134703,361	1	6134703,361	27,413	0,000
Sols	18983,594	1	18983,594	0,085	0,0774
Fumier	286,003	1	286,003	0,001	0,972
Paysans	1,92633. 10 ⁷	15	1284221,362	5,739	0,000
Erreur	3804426,139	17	223789,773		

NB : $\alpha = 0,05$

Tableau 12 : Analyse de variance relative aux effets fumures, sols, fumier, et paysans (blocs) sur le nombre de panicules/m²-Saison humide 1999.

FACTEURS	SOMME DES CARRES	DDL	CARRES MOYENS	F CALCULE	P
Fumures	28336,111	1	28336,111	33,443	0,000
Fumier	12,085	1	12,085	0,014	0,906
Paysans	89960,754	16	5622,547	6,636	0,000
Erreur	14403,889	17	847,288		

NB : $\alpha = 0,05$

Tableau 13 : Analyse de variance relative aux effets fumures, sols, fumier, et paysans sur le nombre de talles/m²-Saison humide 1999.

FACTEURS	SOMME DES CARRES	DDL	CARRES MOYENS	F CALCULE	P
Fumures	68121,000	1	68121,000	41,748	0,000
Sols	1,000	1	1,000	0,001	0,981
Fumier	0,500	1	0,500	0,000	0,986
Paysans	147722,049	15	9848,137	6,035	0,000
Erreur	27739,000	17	1631,706		

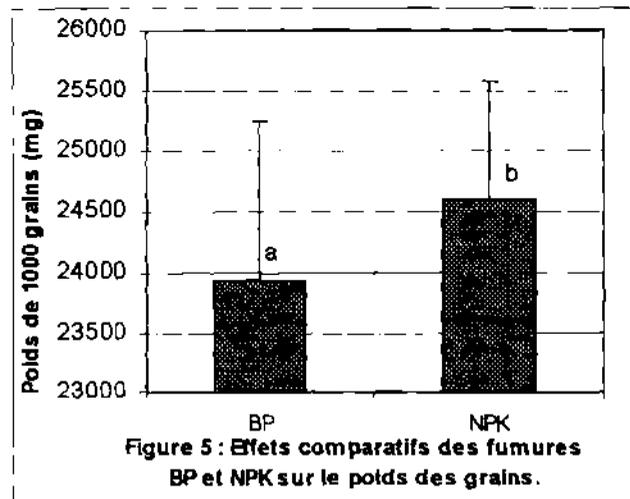
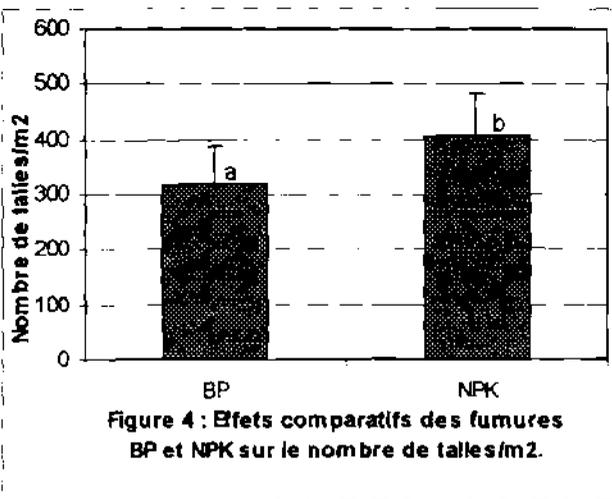
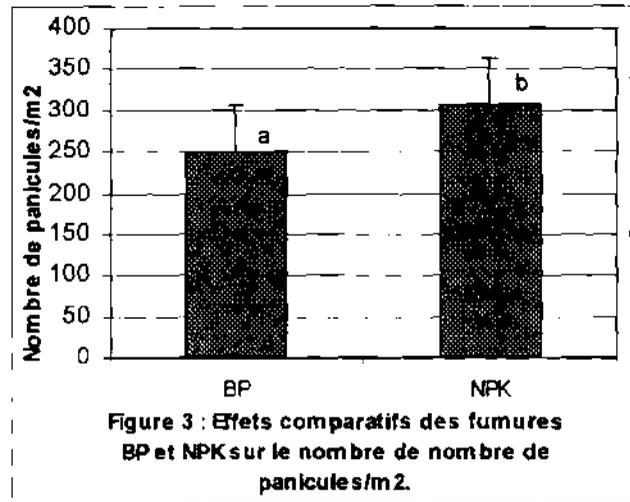
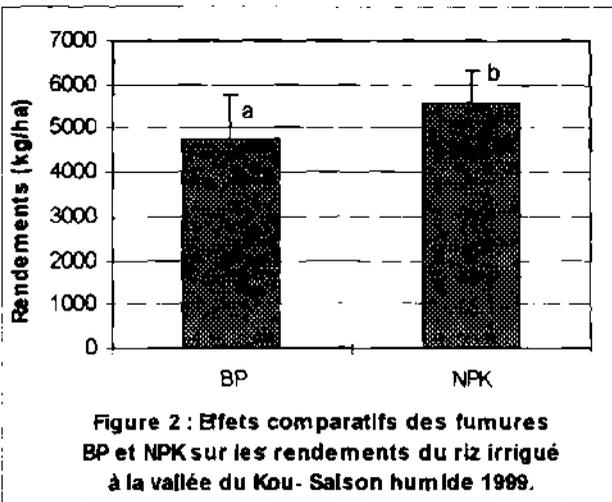
NB : $\alpha = 0,05$

Tableau 14 : Analyse de variance relative aux effets fumures, sols, fumier, et paysans sur le poids de 1000 grains (mg) -Saison humide 1999.

FACTEURS	SOMME DES CARRES	DDL	CARRES MOYENS	F CALCULE	P
Fumures	4024704,694	1	4024704,694	4,643	0,046
Sols	1134,727	1	1134,727	0,001	0,972
Fumier	75350,250	1	75350,250	0,087	0,772
Paysans	2,80471. 10 ⁷	15	1869809,457	2,157	0,065
Erreur	1,47356. 10 ⁷	17	866799,577		

NB : $\alpha = 0,05$

Les résultats des calculs statistiques montrent que les traitements de fumure ont eu un effet très hautement significatif sur les rendements, le nombre de panicules, le nombre de talles, et un effet significatif sur le poids des grains. Les figures 2, 3, 4, et 5 illustrent bien cette situation. En revanche, le type de sol n'a eu aucune incidence significative sur ces paramètres mesurés. Il en est de même pour l'apport ou non de fumier (figure 6, 7, 8). Concernant l'effet paysan, on peut considérer qu'il existe des différences statistiquement considérables lorsqu'on passe d'un paysan à l'autre; à l'exception du poids des grains (figures 9, 10, 11).



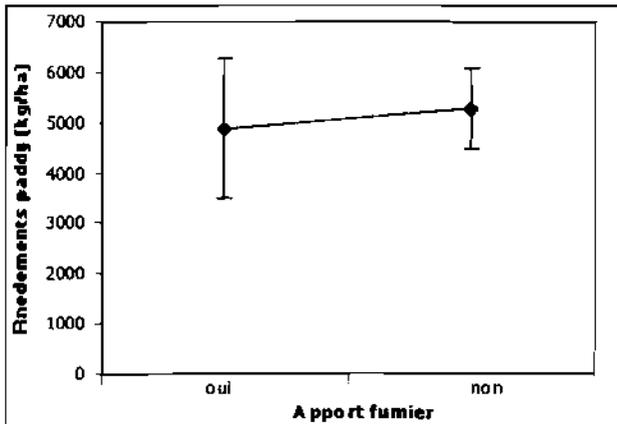


Figure 6: Effets comparatifs des apports de fumier ou non sur les rendements paddy (kg/ha)-Saison humide 1999.

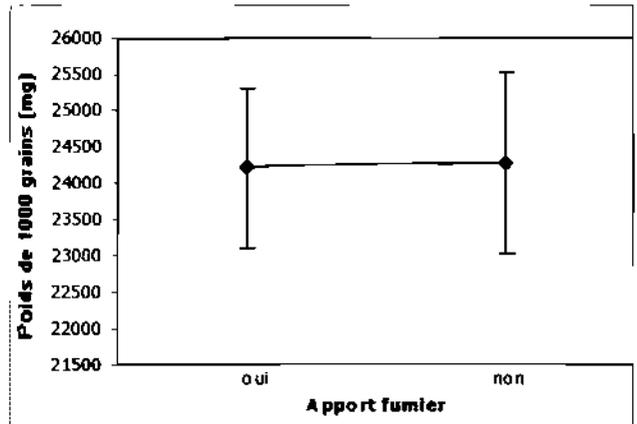


Figure 7: Effets comparatifs des apports de fumier ou non sur le poids des grains Saison humide 1999.

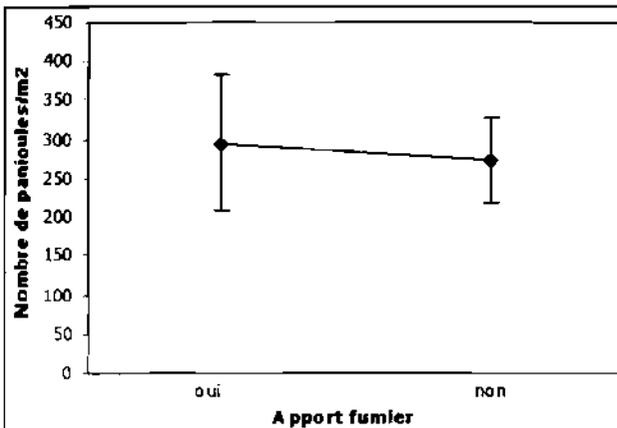


Figure 8: Effets comparatifs des apports de fumier ou non sur le nombre de panicules Saison humide 1999.

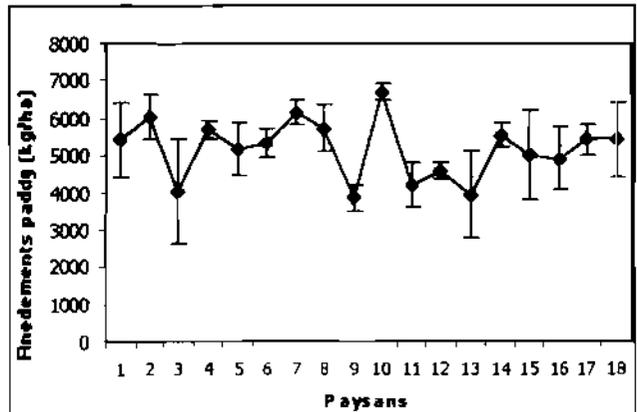


Figure 9: Effets de la variabilité des blocs sur les rendements paddy (kg/ha) Saison humide 1999

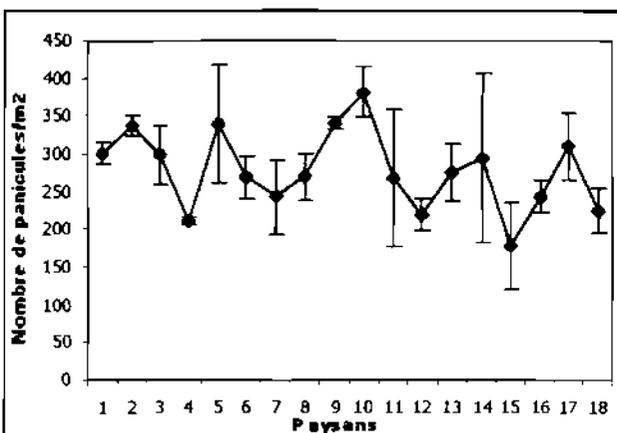


Figure 10: Effets de la variabilité des blocs sur le nombre de panicules Saison humide 1999.

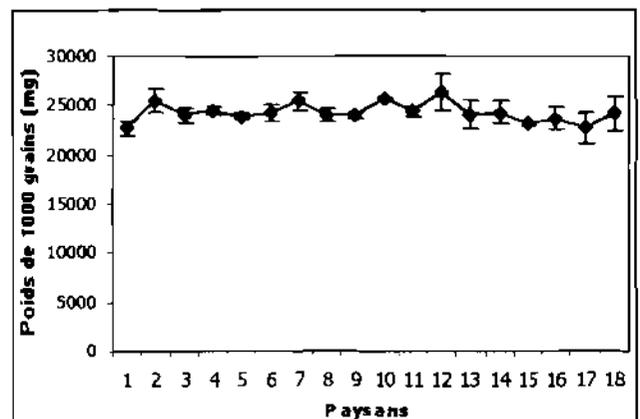


Figure 11: Effets de la variabilité des blocs sur le poids des grains-Saison humide 1999.

III.2.1.1.2. Efficacités agronomiques relatives des fumures.

Afin de mieux comparer les deux formules de fumures, nous avons calculé leurs efficacités agronomiques relatives (EAR). Les calculs ont été faits en considérant que la fumure classique à base du NPK est la plus efficace, et donc que son indice EAR=100%. On calcule alors celui du burkinaphosphate par la formule suivante :

$$EAR_{BP} = (\text{Rendement BP} - \text{Rendement témoin} / \text{Rendement NPK} - \text{Rendement témoin}) \times 100$$

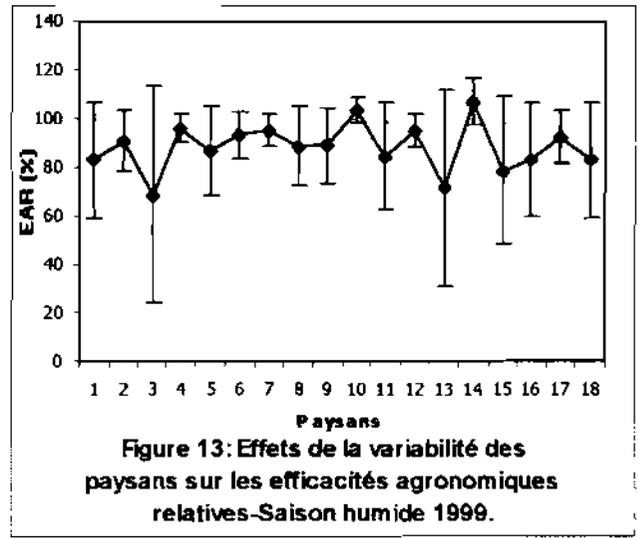
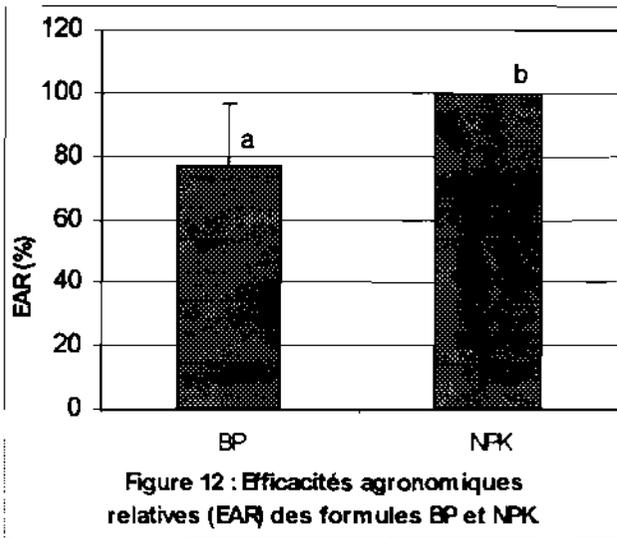
Il faut signaler que les calculs dont le tableau 15 présente les résultats, ont été faits avec un rendement témoin estimé. Selon Bado (1991) en effet, le rendement moyen du témoin sans engrais est de 1900 kg/ha à la vallée du Kou.

Tableau 15 : Efficacités agronomiques relatives des fumures par paysan (Saison humide 1999)

CODES PAYSANS	EAR _{BP}	EAR _{NPK}
1	66	100
2	82	100
3	37	100
4	92	100
5	74	100
6	86	100
7	90	100
8	77	100
9	78	100
10	107	100
11	69	100
12	90	100
13	43	100
14	114	100
15	57	100
16	67	100
17	85	100
18	66	100
MOYENNES	76,67	100
ECARTS-TYPES	19,66	00

On note de façon grossière une différence entre les deux traitements. La fumure NPK a une EAR moyenne supérieure de plus de 30% à celle de la fumure à base de BP. Les chiffres montrent également que l'efficacité agronomique du BP vaut en moyenne moins de 80% celle du NPK. La figure 12, illustrative de cette relativité, ne doit pas occulter l'existence de valeurs extrêmes d'EAR_{BP} : 37 pour le paysan 3, et 114 pour le paysan 14. Plus généralement, trois tendances majeures semblent se dégager de l'ensemble

des données : il y a d'une part les 12 paysans 1, 2, 3, 5, 8, 9, 11, 13, 15, 16, 17, et 18 dont les EAR_{BP} n'atteignent pas 90% ($EAR_{BP} < 90\%$) et qu'on peut donc considérer comme groupe à dominance NPK ; et d'autre part les 4 paysans 4, 7, 10, et 12, pour lesquels la fumure à base de BP peut être considérée comme aussi efficace que le NPK ($90\% \leq EAR_{BP} \leq 110\%$). La troisième tendance exprimant la supériorité du BP ne compte qu'un seul paysan, le 14^{ème}, avec une EAR_{BP} de 114%. La figure 13 révèle toutes ces fluctuations masquées par la tendance globale de la figure 12.



A l'image des paramètres agronomiques précédemment évoqués, nous avons procédé à une analyse de variance de ces efficacités agronomiques relatives en les intégrant comme des variables dépendantes, sous l'influence de facteurs tels que le type de sol, l'application de fumier ou non, les différences dues aux blocs (tableau 16).

Tableau 16 : Analyse de variance relative aux effets fumures, sols, fumier, et paysans sur les efficacités agronomiques relatives des deux fumures éprouvées-Saison humide 1999.

FACTEUR	SOMME DES CARRES	DDL	CARRE MOYEN	F CALCULE	P
Fumures	4900,000	1	4900,000	25,340	0,000
Sols	156,250	1	156,250	0,808	0,381
Fumier	9,031	1	9,031	0,047	0,831
Paysans	3124,359	15	208,291	1,078	0,437
Erreur	3286,000	17	193,294		

NB : $\alpha = 0,05$

En observant ce tableau, on remarque qu'ici également, les statistiques montrent des différences significatives, et que la fumure NPK apparaît toujours supérieure à la fumure à base de BP. Cette dernière a donc été agronomiquement moins efficace que la première. Le tableau indique également que les différences enregistrées sont indépendantes de la texture du sol, et encore plus de l'apport ou non de fumier. De plus, il se dégage un effet bloc peu marqué, qui traduit une faible variabilité des efficacités agronomiques relatives lorsqu'on passe d'un paysan à un autre. L'EAR de la fumure NPK (EAR_{NPK}) ayant été volontairement fixée à 100% pour chaque producteur, il est indéniable qu'elle ait eu un effet tampon sur la variabilité qui aurait pu découler des EAR_{BP} , et partant sur la variabilité globale.

Mais au-delà de toutes ces considérations à caractère agronomique, il nous est paru judicieux de nous appesantir sur un volet beaucoup plus économique qui, dans une large mesure, justifie l'intérêt des présents travaux. Il s'agit de la rentabilité économique des fumures considérées.

III.2.1.1.3. Rentabilités économiques des fumures.

Nous avons utilisé le ratio valeur sur coût pour évaluer ces rentabilités. Il s'agit du rapport entre le surcroît de gain monétaire dû à l'utilisation d'engrais, et le coût engendré par cette fumure. Sa formule est la suivante :

$$RVC = (\text{Rendement parcelle fertilisée} - \text{Rendement témoin}) \times \text{Prix du riz} / \text{Coût de la fertilisation}$$

Les données obtenues à cet effet sont fournies dans le tableau 17 où tous les ratios ont été obtenus en considérant 105 francs comme prix du kilogramme de paddy, 60 francs, 200 francs, et 250 francs comme prix respectifs des kilogrammes de burkinaphosphate, d'urée et de NPK.

Tableau 17: Tableau comparatif des fumures BP et NPK à travers les ratios valeurs sur coûts-Saison humide 1999.

CODES PAYSANS	RVC _{BP}	RVC _{NPK}
1	4,7	4,7
2	6,3	5,0
3	2,0	3,5
4	6,2	4,4
5	4,7	4,2
6	5,4	4,1
7	6,8	5,0
8	5,7	4,7
9	2,9	2,4
10	8,4	5,1
11	3,2	3,0
12	4,3	3,1
13	2,1	3,2
14	6,6	3,8
15	3,8	4,3
16	4,1	4,0
17	5,5	4,2
18	4,8	4,7
MOYENNES	4,9	4,1
ECARTS-TYPES	1,7	0,8

Rappelons qu'un facteur de production est dit économiquement rentable lorsque son RVC est supérieur à 2. Partant, les valeurs enregistrées s'avèrent donc assez élevées. Elles fluctuent entre 2,0 et 8,4 pour le BP, et entre 2,4 et 5,1 pour le NPK. Leurs moyennes respectives de 4,9 et de 4,1, attestent une certaine supériorité, cette fois du BP sur le NPK. Cela est du reste valable pour la majorité des producteurs pris individuellement, sauf pour les 3 paysans 3, 13, et 15, où la tendance s'inverse. La figure 14 traduit la résultante de toutes ces tendances.

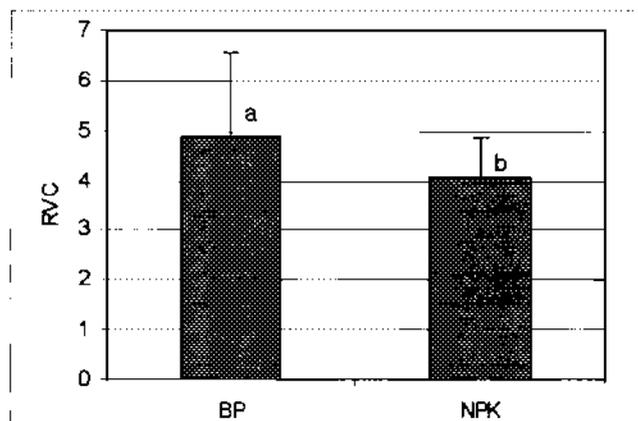


Figure 14 : Ratios valeurs sur coûts (RVC) en fonction des types de fumures BP et NPK.

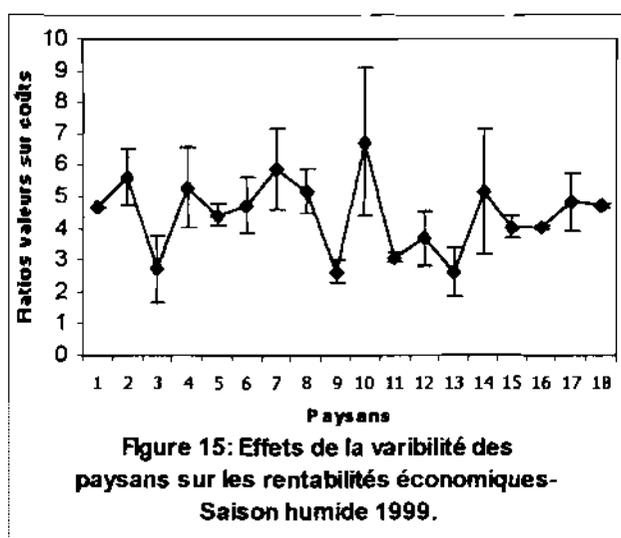
Mais que faut-il penser de tout ceci en termes d'analyse statistique ? Le tableau 18 tient lieu de réponse à cette interrogation.

Tableau 18 : Analyse de variance relative aux effets fumures, sols, fumier, et paysans sur les ratios valeurs sur coûts des fumures BP et NPK éprouvées-Saison humide 1999.

FACTEURS	SOMME DES CARRÉS	DDL	CARRÉS MOYENS	F CALCULÉ	P
Fumures	4,203	1	4,203	5,638	0,030
Sols	0,001	1	0,001	0,001	0,974
Paysans	41,661	16	2,604	3,493	0,007
Erreur	12,673	17	0,745		

NB : $\alpha = 0,05$

On remarque qu'à l'instar des cas précédents, l'effet fumure est très net, de même que l'effet paysan se montre très marqué (figure 15).



III.2.1.1.4. Revenus monétaires des fumures

A côté des calculs de rentabilité développés ci-dessus, il nous a semblé plus commode de présenter les résultats en termes de revenu monétaire, encore plus expressif du gain financier, et donc plus objectif. Le calcul du revenu monétaire s'obtient en ôtant de la valeur de la production due aux engrais, le coût total de ces engrais, par la formule :

$$\text{Revenu} = [(\text{Rendement parcelle fertilisée} - \text{Rendement témoin}) \times \text{Prix riz}] - \text{Coût engrais.}$$

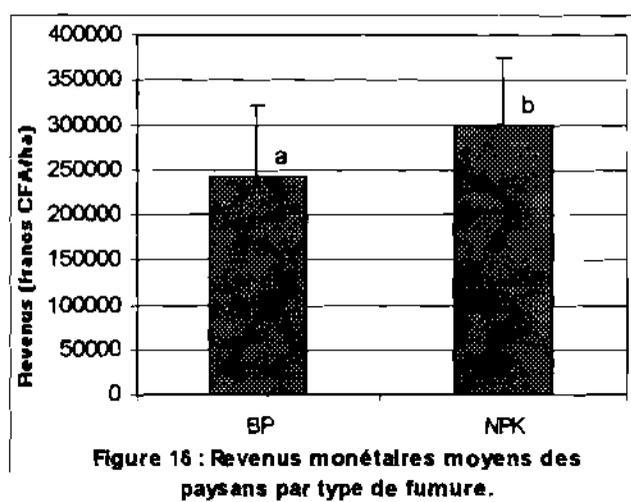
Les valeurs obtenues à cet effet sont présentées dans le tableau 19. A l'image des calculs d'efficacités agronomiques relatives du paragraphe II.1.1.2., le rendement témoin a été estimé à 1 900 kg/ha dans la précédente formule.

Tableau 19: Effets comparés des fumures à base de BP et de NPK sur les revenus monétaires des paysans (francs CFA/ha)-Saison humide 1999.

CODES PAYSANS	REVENU _{BP}	REVENU _{NPK}
1	230845	350830
2	328390	383800
3	58015	233020
4	319360	319960
5	230635	299380
6	272635	294130
7	360520	375820
8	294685	354610
9	117445	135580
10	458695	393775
11	113510	190495
12	203230	200995
13	65785	205720
14	346555	263785
15	173410	317965
16	191785	283000
17	382150	306310
18	230845	350725
MOYENNES	243250	292217
ECARTS-TYPES	112392	74048

D'un point de vue global, les meilleurs revenus monétaires ont été obtenus avec la fumure NPK, qui affiche le chiffre record de 393 775 avec le paysan 10. Les autres paysans oscillent avec de fortes amplitudes entre cette valeur extrême et les 190 495 associés au 11^{ème} paysan.

Au niveau du BP, les amplitudes de variation et donc la variabilité sont beaucoup plus fortes, avec un écart-type de 112 392, contre 74 048 pour le NPK. Les revenus extrêmes ont été obtenus avec le 3^{ème} paysan pour le minimal, et avec le 10^{ème} paysan pour le maximal ; les valeurs correspondantes étant respectivement de 58 015, et de 458 695. Entre les deux fumures se trouve la différence moyenne de 48 967. Celle-ci est nettement mise en exergue sur la figure 16 suivante.



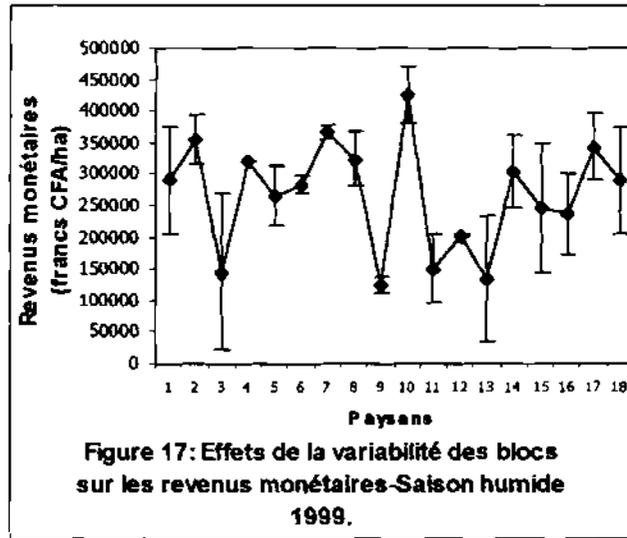
Tous les gains monétaires des paysans ont fait l'objet d'une analyse de variance en tant que variables dépendantes, sous l'influence des mêmes facteurs que ceux des cas précédents, à savoir le type de sol, l'apport ou non de fumier, et les blocs paysans. Le tableau 20 présente les résultats de cette analyse, qui une fois de plus montrent un effet fumure évident.

Tableau 20 : Analyse de variance des effets fumures, sols, fumier, et paysan sur les revenus monétaires des paysans (francs CFA/ha) -Saison humide 1999.

FACTEURS	SOMME DES CARRÉS	DDL	CARRÉS MOYENS	F CALCULÉ	P
Fumures	$2,15799 \cdot 10^{10}$	1	$2,15799 \cdot 10^{10}$	7,323	0,015
Sols	0,001	1	0,001	0,001	0,974
Fumier	$2,51648 \cdot 10^9$	1	$2,51648 \cdot 10^9$	0,854	0,368
Paysans	$2,25492 \cdot 10^{11}$	15	$1,50328 \cdot 10^{10}$	5,101	0,001
Erreur	$5,00971 \cdot 10^{10}$	17	$2,94689 \cdot 10^9$		

NB : $\alpha = 0,05$

Les fumures en présence révèlent une probabilité de 0,015. L'écart de valeurs illustré par la figure 16 est donc suffisamment grand pour affirmer la supériorité du gain monétaire du NPK, sur celui du BP. De plus, l'effet bloc (effet paysan) mis en exergue sur la figure 17, se montre hautement significatif.



En définitive, de toutes les variables dépendantes analysées jusqu'ici, l'effet bloc s'est assez bien illustré comme un facteur hautement explicatif du rendement et des paramètres du rendement. Au vu de l'égalité des doses d'engrais appliqués chez les paysans, ce fait ne peut être que la traduction de différences existant au sein des pratiques culturales paysannes et/ou parmi les multiples facteurs pédo-climatiques existants, dont on est parfois loin de se douter même de l'existence (Pieri, 1989). Le souci d'identifier ces facteurs clés de variation de rendement, donc de variation des revenus, nous a conduit à une analyse en composantes principales, intégrant un plus grand nombre de facteurs.

III.2.1.1.5. Relations entre les pratiques culturales et les paramètres de rendement.

Afin de déceler les relations existant entre pratiques culturales, certains facteurs pédologiques et les paramètres agronomiques, nous avons procédé à une analyse en composantes principales (ACP). Les analyses ont été faites séparément pour le NPK et pour le BP. Au total, 15 paramètres ont été analysés dans le premier cas. Dix d'entre eux ont été introduits comme facteurs variables : il s'agit de la période de semis *DSM*, de la période de repiquage *DRQ*, de l'âge des plants au repiquage *APR*, de la date de désherbage *DDS*, de la date d'apport de l'engrais de fond NPK *NPK*, de la date du premier apport d'urée *AUA*, de la date du deuxième apport d'urée *AUB*, du type de sol *TYS*, de la quantité de fumier apportée *QTF*, et de la profondeur des sols *PFS*.

Les cinq autres variables elles, ont tenu lieu de variables dépendantes : il s'agit du rendement *RDT*, du nombre de panicules/m² *NBP*, du nombre de talles/m² *NBT*, du poids de 1000 grains *PMG*, et de la hauteur des plants *HTP*. Des résultats de l'analyse ci-après présentés il ressort que la première valeur propre associée au premier axe représente 37,50% de la variation totale. La deuxième valeur propre correspondant au deuxième représente 17,4% de la variation totale. Il faut aller jusqu'au troisième axe pour appréhender les 3/4 de l'information contenue dans notre tableau de données (cf. annexe 1) : 37,5% + 17,4% + 16,4% = 71,3%. Ces trois axes peuvent donc être considérés comme suffisamment représentatifs des résultats de l'analyse, et donc comme traduisant une assez bonne représentation du nuage de points visibles sur les figures 18, 19 et 20 suivantes.

DIAGONALISATION

1E LIGNE : VALEURS PROPRES (VARIANCES SUR LES AXES PRINCIPAUX)

2E LIGNE : CONTRIBUTION A LA VARIATION TOTALE (POURCENTAGES EXPLIQUES PAR LES AXES PRINCIPAUX)

AXE 1	AXE 2	AXE 3
3,7536	1,7360	1,6395
37,5 %	17,4 %	16,4 %

ETUDE DES VARIABLES

1E COLONNE : CORRELATIONS ENTRE LES VARIABLES ET LES AXES PRINCIPAUX

2E COLONNE : CORRELATIONS AU CARRE

VARIABLES COMPOSANTES PRINCIPALES

	AXE 1	AXE 2	AXE 3
DSM **	-0,8068	0,6509	* 0,4200
DRQ **	-0,8800	0,7743	* 0,0987
APR **	0,4908	0,2408	* -0,5543
DDS **	0,7595	0,5768	* -0,0282
NPK **	0,7165	0,5134	* 0,6279
AUA **	0,7165	0,5134	* 0,6279
AUB **	-0,5856	0,3429	* 0,3854
TYS **	-0,3281	0,1076	* -0,2082
QTF **	0,1821	0,0331	* -0,1663
PFS **	0,0143	0,0002	* 0,4833

VARIABLES SUPPLEMENTAIRES

	AXE 1	AXE 2	AXE 3
RDT **	0,4091	0,1674	* 0,0986
NBP **	0,3122	0,0975	* -0,2222
PMG **	0,3918	0,1535	* -0,0316
NBT **	0,4607	0,2122	* 0,0032
HTP **	0,5101	0,2602	* -0,2069

CERCLES DES CORRELATIONS

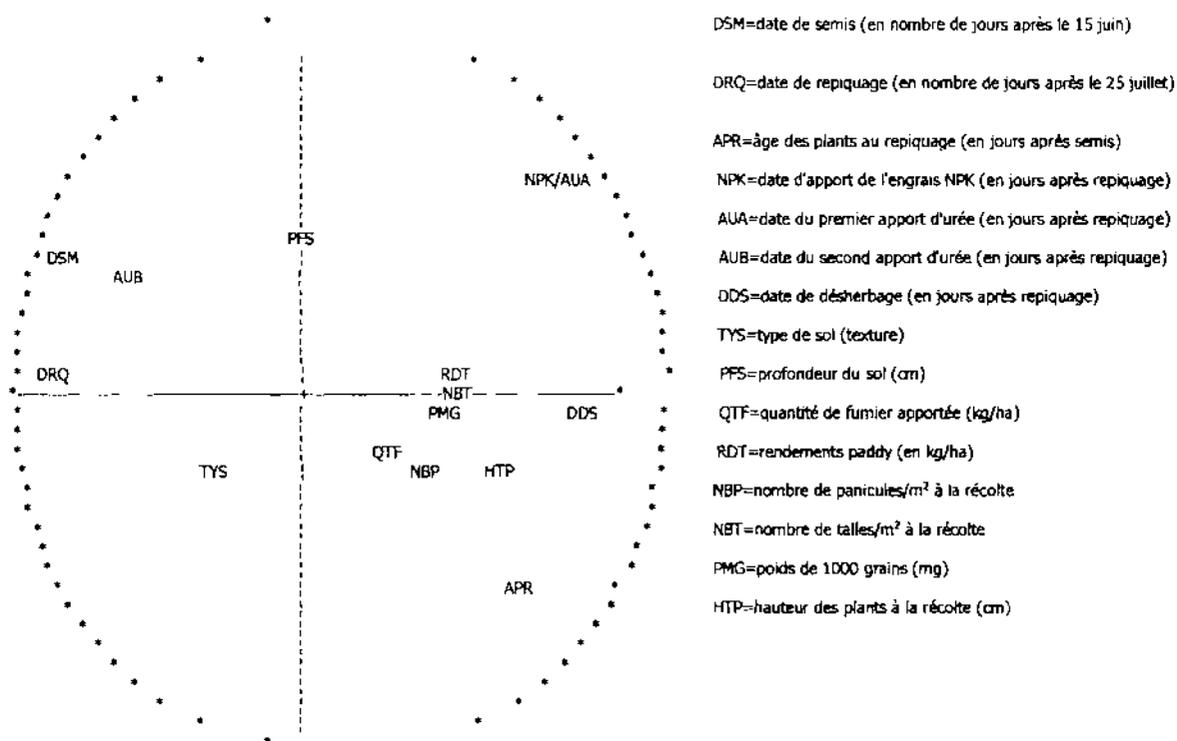


Figure 18 : CERCLE DES CORRELATIONS NPK ; PLAN 1-2 (AXE 1 HORIZONTAL ; AXE 2 VERTICAL)

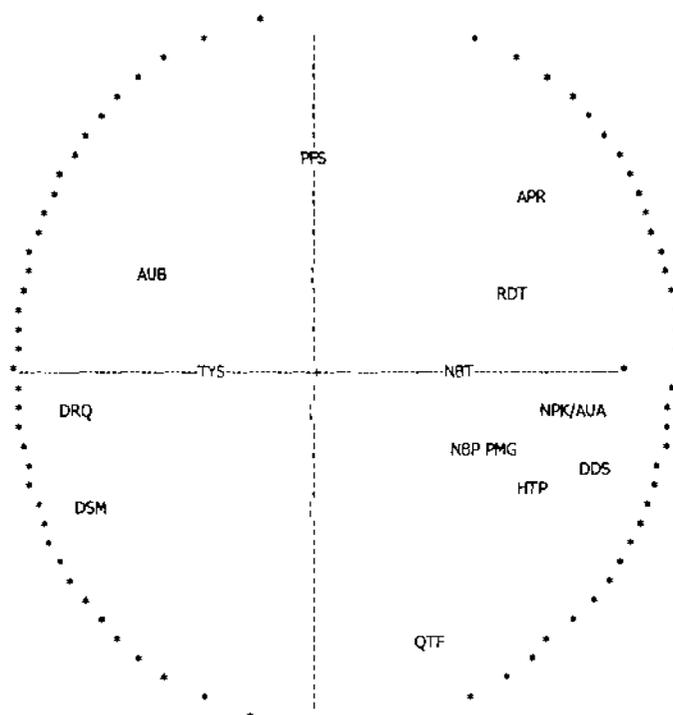


Figure 19 : CERCLE DES CORRELATIONS NPK ; PLAN 1-3 (AXE 1 HORIZONTAL ; AXE 3 VERTICAL)

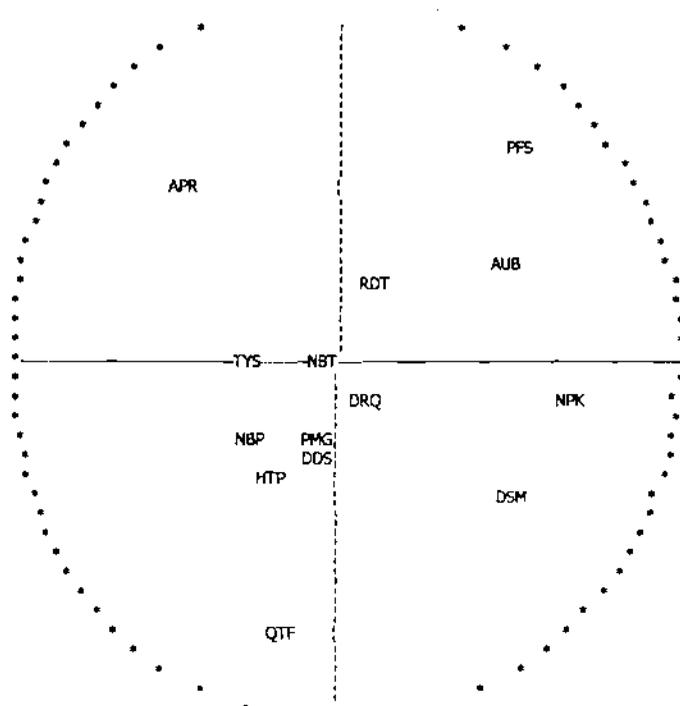


Figure 20 : CERCLE DES CORRELATIONS NPK ; PLAN 2-3 (AXE 2 HORIZONTAL ; AXE 3 VERTICAL)

On remarque qu'en dehors de *QTF* et de *PFS*, les autres variables actives encore dites explicatives ou facteurs variables sont plus ou moins bien corrélées à l'axe 1, avec de bien meilleures corrélations (r) pour *DSM* ($r = -0,81$), et *DRQ* ($r = -0,88$). En conséquence, toute variable supplémentaire (dépendante) qui se trouvera corrélée à cet axe, le sera nécessairement avec le repiquage et le semis, et dans une mesure moindre mesure avec *DDS*, *NPK* et *AUA*. C'est d'ailleurs le cas pour les 5 variables supplémentaires qui, pris dans l'ordre de citation précédent définissent avec l'axe en question des corrélations respectives de 0,41 ; 0,31 ; 0,46 ; 0,39 ; et 0,51. Aussi, les signes positifs de ces corrélations conjugués à la tendance au regroupement des variables correspondantes sur l'ensemble des graphiques, montrent que ces variables ont un même sens de variation. En d'autres termes, elles augmentent et diminuent de façon simultanée.

En outre, l'étroitesse de la liaison entre *QTF* ($r = -0,78$), *PFS* ($r = 0,65$) et l'axe 3 témoigne de l'indépendance entre ces variables et les paramètres de rendement, eu égard l'indépendance existant entre les différents axes. Mais quel que soit l'axe considéré, *DSM* s'oppose à *APR*. Autrement dit, ces variables évoluent dans des sens contraires, et l'augmentation de la première entraîne une réduction de l'autre qui, du reste varie dans le même sens que le rendement.

Pour ce qui est du cas du burkinaphosphate (BP), nous avons grossièrement utilisé les mêmes paramètres analytiques que précédemment. La seule différence réside en la suppression de la variable *NPK*, au profit de deux autres variables: l'efficacité agronomique relative (*EAR*) du BP par rapport au *NPK*, et la différence *DIF* de rendement entre les deux fumures. D'une façon générale, nous avons abouti aux mêmes distributions, à savoir que les 3/4 de la variation totale sont exprimés par les trois premiers axes, et que les époques de semis *DSM* et de repiquage *DRQ* contribuent les plus à la formation de l'axe principal. Il y a aussi eu que les variables supplémentaires *RDT*, *NBT*, *NBP*, et *HTP* définissent avec cet axe leurs plus grandes corrélations, et qu'elles évoluent dans le même sens.

DIAGONALISATION

1E LIGNE : VALEURS PROPRES (VARIANCES SUR LES AXES PRINCIPAUX)

2E LIGNE : CONTRIBUTION A LA VARIATION TOTALE (POURCENTAGES EXPLIQUES PAR LES AXES PRINCIPAUX)

AXE 1	AXE 2	AXE 3
3,3885	1,6364	1,3730
37,7 %	18,2 %	15,3 %

ETUDE DES VARIABLES

1E COLONNE : CORRELATIONS ENTRE LES VARIABLES ET LES AXES PRINCIPAUX

2E COLONNE : CORRELATIONS AU CARRE

VARIABLES COMPOSANTES PRINCIPALES

	AXE 1		AXE 2		AXE 3	
DSM **	0,8747	0,7651 *	0,3491	0,1219 *	0,2840	0,0806 *
DRQ **	0,9052	0,8194 *	0,0520	0,0027 *	-0,0489	0,0024 *
APR **	-0,5766	0,3324 *	-0,4714	0,2222 *	-0,4492	0,2018 *
DDS **	-0,7719	0,5958 *	0,2586	0,0669 *	0,2149	0,0462 *
AUA **	-0,5700	0,3249 *	0,0325	0,0011 *	0,5303	0,2812 *
AUB **	0,6277	0,3941 *	-0,3349	0,1121 *	0,3346	0,1119 *
TYS **	0,3342	0,1117 *	-0,0137	0,0002 *	-0,6042	0,3650 *
QTF **	-0,2094	0,0438 *	0,8006	0,6410 *	0,1007	0,0101 *
PFS **	0,0345	0,0012 *	-0,6844	0,4684 *	0,5231	0,2736 *

VARIABLES SUPPLEMENTAIRES

	AXE 1		AXE 2		AXE 3	
RDT **	-0,3239	0,1049 *	0,1118	0,0125 *	0,1088	0,0118 *
NBP **	-0,5106	0,2607 *	0,2140	0,0458 *	0,1241	0,0154 *
PMG **	-0,1414	0,0200 *	0,3515	0,1236 *	-0,0600	0,0036 *
NBT **	-0,5219	0,2724 *	0,0592	0,0035 *	0,1830	0,0335 *
HTP **	-0,6502	0,4227 *	0,2191	0,0480 *	0,1240	0,0154 *
EAR **	-0,1106	0,0122 *	0,3019	0,0912 *	-0,0202	0,0004 *
DIF **	0,0922	0,0085 *	-0,4532	0,2054 *	-0,0030	0,0000 *

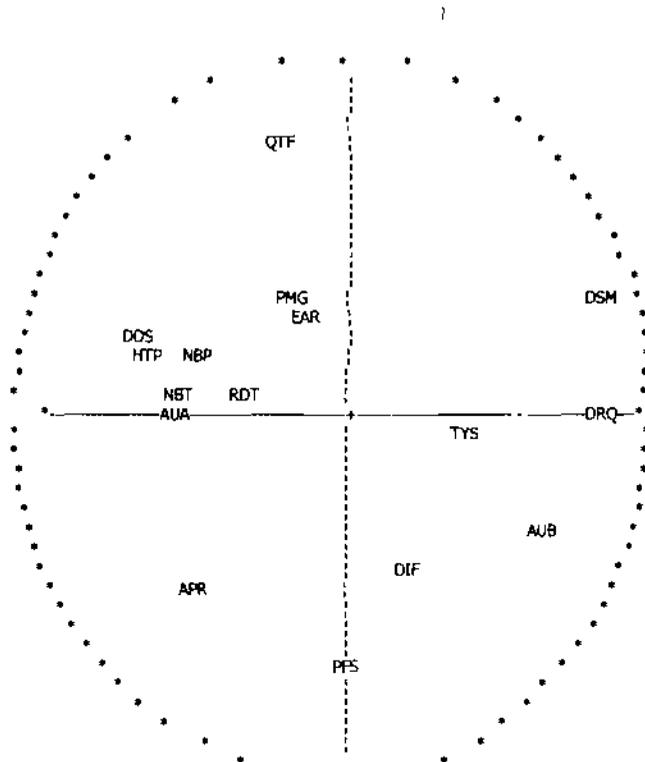


Figure 21 : CERCLE DES CORRELATIONS BP; PLAN 1-2 (AXE 1 HORIZONTAL ; AXE 2 VERTICAL)

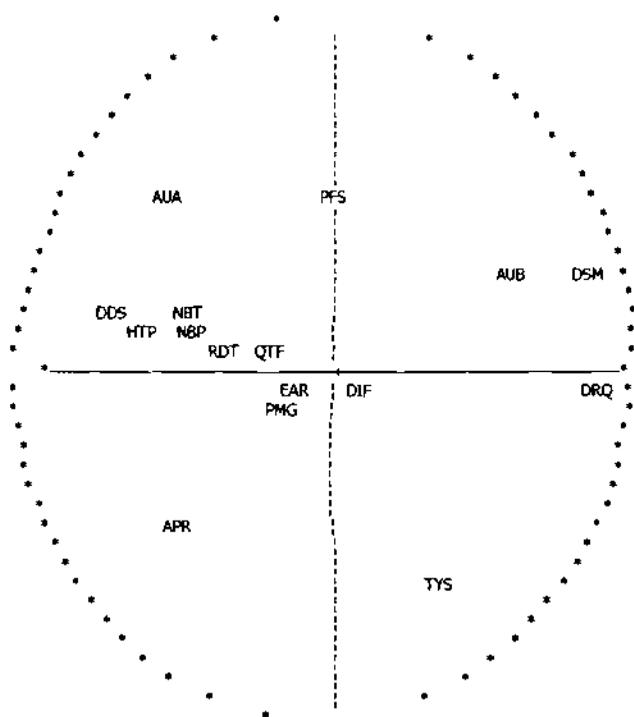


Figure 22 : CERCLE DES CORRELATIONS BP; PLAN 1-3 (AXE 1 HORIZONTAL ; AXE 3 VERTICAL)

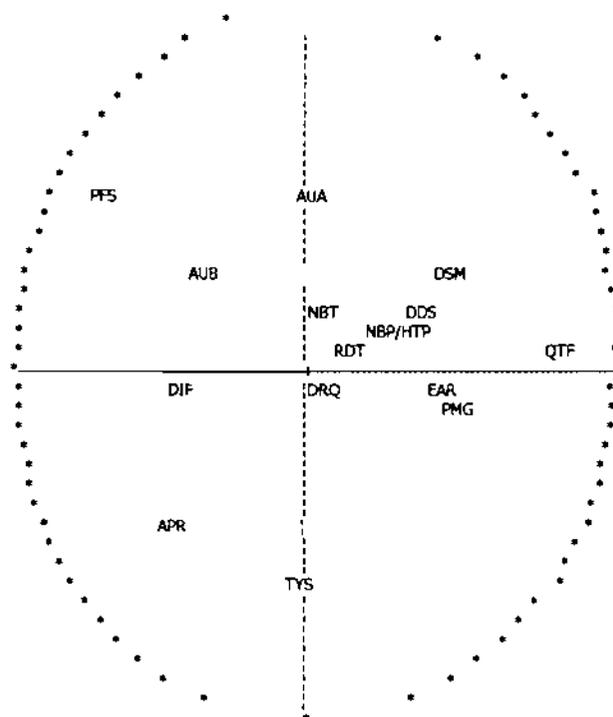


Figure 23 : CERCLE DES CORRELATIONS BP ; PLAN 2-3 (AXE 2 HORIZONTAL ; AXE 3 VERTICAL)

Cependant, le poids des grains *PMG* se montre beaucoup plus lié à l'axe 2 ($r= 0,35$), et donc par transitivité aux variables *EAR* et *DIF*, aussi corrélées à cet axe. Il en est de même pour la variable *QTF* exprimant la quantité de fumier apportée. Les figures 21, 22, 23 montrent une opposition radicale entre cette dernière et la variable *DIF* qui, naturellement s'oppose à *EAR*.

En outre, il est noté une assez bonne corrélation des variables *AUA*, *AUB*, et *DDS* avec l'axe 1, donc avec les rendements *RDT*. Leur corrélations respectives sont de -0,57; 0,63; et de -0,77. C'est dire que *AUB* s'oppose aux paramètres du rendement, contrairement aux deux autres.

III.2.1.2. DISCUSSIONS

III.2.1.2.1. Rendements et fumures

Le niveau élevé des rendements constitue le fait le plus évident à signaler. Quelle que soit la fumure considérée, le rendement moyen dépasse la barre des 4,5 tonnes/ha : il est de 5,6 tonnes/ha pour la fumure NPK, et de 4,8 tonnes/ha pour le BP, soit une différence de 800 kg. Cet écart significatif montre bien la supériorité de la première formule sur la deuxième. A priori, cela pourrait nous renvoyer au problème de dissolution des phosphates naturels, dont plusieurs auteurs se sont longuement fait écho (Bikienga *et al.*, 1981; Ouédraogo, 1983; Ouédraogo, 1990; Koura, 1988). Cela semble

d'autant frappant pour le burkinaphosphate que son ratio molaire apatitique CO_3/PO_4 , indice de dissolution pour les phosphates bruts, est de 0,068 (Chien, 1977), donc très faible. De plus, sa solubilité relative dans le citrate n'est que de 33% celle des phosphates naturels de Caroline du Nord (Chien, 1977). Elle n'atteint donc pas la moitié même de l'indice de solubilité absolue de 70% considéré par certains auteurs comme condition nécessaire pour l'application directe du produit (Sanchez, 1976). Dès lors, seuls les facteurs extrinsèques au phosphate peuvent permettre une bonne dissolution du produit (cf. paragraphe I.2.2).

Pour ce qui est de l'acidité par exemple, on peut supposer que les sols l'étaient; ce à la lumière des résultats de Nebié (1995). Mieux, leurs pH respectaient largement la valeur limite maximale des 6,2 permettant, aux yeux de Compaoré *et al.* (1997), d'observer une valeur fertilisante significative des phosphates naturels calciques. Le facteur acidité, auquel Mey *et al.* (1986) attribueraient en premier lieu la bonne dissolution des phosphates bruts, semble donc avoir eu des effets limités. C'est que probablement, les conditions de submersion inhérentes à la riziculture irriguée ont eu pour incidence de relever les pH des sols; ce d'autant plus fortement que les pH initiaux sont plus bas. Pour Ponnampereuma (1972) dont Camara (1985) rapporte les propos, une telle élévation de pH serait principalement due à la réduction du fer qui, ainsi rendu plus soluble, déplacerait les bases échangeables des sites colloïdaux vers la solution du sol.

Même s'il reste encore admissible de considérer ce phénomène comme insuffisamment marqué pour désacidifier totalement le sol, il convient aussi de signifier que les sols acides ne pourvoient pas forcément le plus de phosphore aux plantes. Car, dira Baeyens (1967) en s'inspirant de Madl (1961), les pH acides sont favorables à la rétrogradation des phosphates solubilisés, suite à la plus grande activité du fer et de l'aluminium qu'ils occasionnent. De plus, dans les sols très riches en ces oxydes métalliques, la submersion aurait tendance à transformer graduellement les oxydes ferriques et aluminiques bien cristallisés, en formes amorphes. Ces dernières posséderaient une plus grande surface spécifique, donc beaucoup plus de sites d'adsorption du P (Sanchez, 1976).

Aussi, dans les sols hydromorphes riches en argiles et en hydroxydes, les besoins en P sont généralement plus élevés, compte tenu du fait qu'une bonne partie serait fixée par le sol et échapperait ainsi temporairement à l'alimentation de la plante (Kuo *et al.*, 1979, cités par Bado, 1991). C'est dire que l'apport de P soluble sous forme de burkinaphosphate pourrait avoir été insuffisamment nourri pour faire face à l'adsorption, et dégager un excédent qui puisse satisfaire entièrement la culture dans ses

besoins. En d'autres termes, le pouvoir fixateur du sol a probablement eu raison des trop faibles quantités de P soluble issues du BP. Ceci est d'autant plausible que la pauvreté générale des sols de la vallée du Kou en matière organique, maintes fois signalée d'ailleurs (Nebié, 1995), favoriserait le phénomène de la rétrogradation. En effet, il a été rapporté que plus un sol s'appauvrissait en matière organique, mieux il rétrogradait énergiquement le phosphore des engrais (Fardeau *et al.*, 1977).

Contrairement aux engrais très solubles et à action quasi-spontanée (NPK), les données récoltées avec le BP rejoignent un grand lot de résultats selon lesquels le produit se serait avéré inadéquat en fumure annuelle sur des cultures annuelles (Bikienga *et al.*, 1981; Koura, 1988). A défaut d'avances très larges du produit dans le temps, il semble qu'une augmentation des doses du phosphate à appliquer s'impose. Les faibles quantités de phosphore immédiatement utilisables pourront ainsi se sommer pour atteindre dans la solution du sol, le seuil de 0,02 mg/l qui, au yeux de Camara (1985), permet d'obtenir un rendement relatif de 95% du maximum. Car, et on ne saurait l'omettre, 1 kg de phosphore produit en moyenne 25 kg de riz paddy environ (FAO, 1966).

Par rapport à la fumure au NPK, le déficit de rendement, de tallage et de panicules accusé par les parcelles fertilisées au BP serait donc dû en partie à l'insuffisance de P soluble présent dans la solution du sol. Cela est davantage compréhensible si l'on s'en réfère à la prépondérance du phosphore dans la résistance du riz au froid, et aux effets défavorables du repiquage tardif (ADRAO, 1995), toutes choses ayant profondément marqué notre campagne. Il y a aussi un problème apparemment subsidiaire qui pourrait avoir "limité" les rendements du BP : il s'agit de la très faible quantité de potassium dans la formule au BP. Elle ne vaut que 1,84 kg d'oxyde de potassium (K_2O) par hectare. Il est certes vrai que les sols de la vallée du Kou ont été déclarés comme relativement riches en K (Wopereis *et al.*, 1998), mais il semble désormais qu'il faille tout de même fournir cet élément à une dose qui reste à définir.

III.2.1.2.2. Rendements et pratiques culturales

Il ressort de l'ACP que de toutes les variables actives, les pratiques culturales, beaucoup plus que les facteurs pédologiques tels le type et la profondeur du sol, se sont montrées les plus explicatives des variables agronomiques dépendantes mesurées. En particulier, les époques de semis et de repiquage semblent avoir joué un rôle prépondérant dans l'expression du rendement et de ses composantes. Ceux-ci sont d'autant plus élevés que semis et repiquage sont réalisés plus tôt. Le même constat a été

fait par le CERCIC (1978) qui, de ce fait avait eu à fixer la période de mi-juin comme meilleure pour le semis, et la date butoir du 25 juillet comme limite maximale pour le repiquage. Il faut dire à ce sujet que pour 95% des paysans suivis lors de l'étude, les semis ont eu lieu dans la troisième décennie du mois de juin ; et le repiquage pendant les première, deuxième, et troisième décades du mois d'août pour 10%, 5%, et 3% respectivement. Autant dire que le calendrier cultural a été très peu respecté. D'ailleurs seul un des 18 paysans a obéi aux 15 à 25 jours d'âge recommandé par le CERCIC (1979) pour les plants au repiquage. Le paradoxe, c'est que ce sont les plants les plus âgés qui semblent avoir fourni les meilleurs rendements de notre étude. Le repiquage tel que mené au delà du 25 juillet, exigerait des plants plus âgés, dont la faveur de la taille et la relative vigueur les auraient doté d'une plus grande résistance vis à vis des nombreuses inondations enregistrées au cours de la campagne (cf. pluviométries annexe 2). Aussi convient-il de noter que les plants trop jeunes résistent souvent mal à l'arrachage; plus encore lorsque, à l'image des paysans suivis, il se fait sans soins particuliers à même de minimiser les traumatismes qui en découlent.

L'analyse en composantes principales (ACP) a révélé par ailleurs que l'obtention d'un bon rendement passe par un contrôle des dates de désherbage, des dates de 1^{er} et 2^{ème} apports d'urée, ainsi que de celle du NPK. Les dates précoces de désherbage ont agi dans le sens d'une baisse des rendements : l'unicité du sarclage des producteurs requérait un recul temporel de l'opération, afin de limiter la compétition des adventices avec la culture pour les engrais. En hâtant parallèlement la date du deuxième apport d'urée, on en arrive à limiter davantage cette compétition, à la faveur d'un terrain encore mal colonisé par les adventices au moment de l'apport. Cela n'est résolument pas le cas pour le premier apport d'urée où les applications les plus tardives semblent plus bénéfiques, probablement grâce à une meilleure valorisation de l'engrais apporté : les apports relativement précoces permettraient mal aux racines d'assurer une bonne alimentation de la culture, parce qu'encore mal remises de leur traumatisme d'arrachage et de transplantation. L'urée ainsi appliquée serait beaucoup plus sujette aux pertes, et amorcerait très vite ses pertes par volatilisation, dénitrification, ou lessivage avant même que les pilosités radiculaires ne se soient suffisamment rétablies.

III.2.1.2.3. Rendements et facteurs pédologiques

L'absence d'effet de la profondeur des sols sur les paramètres du rendement est probablement imputable au type fasciculé, donc superficiel du système racinaire du riz. En effet, rapporte Sié (1986), 80% des racines du riz irrigué sont

généralement réparties dans la couche 0-20 cm ; la proportion des racines pouvant aller au delà des 50 cm n'étant que de 3 à 4% (Matsushima, 1980 cité par Nebié, 1995).

Aussi, l'évolution des paramètres de rendement indépendamment de la texture du sol révèle une certaine similitude comportementale entre les deux types de sol en considération. Il est vrai que Bado *et al.* (1999) avaient souligné le rôle prépondérant de la nature du sol sur l'efficacité agronomique, mais la proximité des textures des sols étudiés et leurs conditions pédogénétiques voisines marquées par l'hydromorphie, n'ont pu permettre l'induction des différences significatives de productivité.

III.2.1.2.4. Fumures et économie

Du côté économique, on retiendra que d'une façon générale, les ratios valeurs sur coûts (RVC) se sont montrés satisfaisants. Dans toutes les exploitations, le RVC est supérieur ou égal à 2 quelle que soit la fumure considérée. Les parcelles bonifiées au BP semblent néanmoins mieux loties que les autres, avec une moyenne talonnant les 5. Ceci signifie que chaque franc investi dans l'engrais rapporte 5 francs, soit un bénéfice de 4 francs. Ces chiffres surclassent de loin ceux relatifs au NPK, pour lesquels $RVC = 4$ et le bénéfice 3 par franc investi. On en déduit que chaque franc investi dans chacune des deux formules rapporte $5/4 = 1,25$ fois plus d'argent avec le BP qu'avec le NPK, avec un bénéfice de $4/3 = 1,33$ fois plus important. Pourtant, quand rentrent en jeu les revenus monétaires (tableaux 18 et 19), c'est le NPK qui l'emporte. L'explication est que la formule au BP coûtant 62 000 francs/ha, contre 95 000 francs/ha pour la fumure au NPK, si l'on considère les bénéfices ci-dessus mentionnés, $4/3$ est la valeur du rapport [coût fumure NPK/coût fumure BP] pour laquelle les deux formules s'équivalent en terme de bénéfice. En d'autres termes, si on considère Y comme coût de la fumure NPK, et X comme celui du BP par hectare, l'équivalence a lieu lorsque $Y = (4/3)X$. En conséquence, si $Y < (4/3)X$, la fumure au BP devient bénéfique. Si au contraire $Y > (4/3)X$, la tendance s'inverse et le NPK vient à l'emporter. Dans notre contexte où $X = 62\ 000$ et $Y = 95\ 000$ francs/ha, cette dernière éventualité est celle qui prévaut, car $Y = (3/2)X$ et donc s'avère supérieur à $(4/3)X$.

III.2.1.2.5. Economie et rendements

De ce qui précède, nous pouvons retenir que la formule au BP est beaucoup plus rentable que celle au NPK qui, par contre se montre plus bénéfique eu égard l'investissement additionnel de $(95\ 000 - 62\ 000 =) 33\ 000$ francs qu'elle requiert. Mais en réalité, cette supériorité financière du NPK découle d'une supériorité de production

du NPK sur le BP, qu'il serait intéressant d'apprécier à travers les rendements. Pour ce faire, désignons par X_1 et par Y_1 les rendements respectifs des parcelles BP et NPK. Il s'ensuit pour toute égalité de revenu monétaire entre les deux formules, l'équation :

$$[(X_1-1900).105]-62\ 000 = [(Y_1-1900).105]-95\ 000 ; \text{ où}$$

*1 900 désigne le rendement sans engrais (Bado, 1991);
105, le prix du kilogramme de riz paddy ;
62 000, le coût par hectare de la formule au BP ;
95 000, celui de la formule au NPK.*

Ce qui revient à dire que $Y_1=X_1+314$. En d'autres termes, il faudrait entre les rendements BP et NPK, une différence de 314 kilogrammes en faveur du NPK pour qu'il procure par hectare le même revenu que le BP. On en déduit que pour tout $Y_1 < X_1+314$, il y a supériorité du BP sur le NPK. En revanche, pour tout $Y_1 > X_1+314$, c'est le NPK qui rapporte le plus. Cette dernière éventualité a été la plus fréquemment rencontrée chez les producteurs (cf. annexe 1), avec une répercussion immédiate sur la moyenne paysanne (tableau 10). Cela nous amène donc à prôner judicieusement le meilleur comportement de la fumure NPK par rapport à la fumure BP. Au passage, il convient de remarquer que les 314 kg de paddy ne sont rien d'autre que le rendement différentiel nécessaire à l'absorption des frais d'investissement supplémentaire de 33 000 francs relatifs à la fumure NPK : $33\ 000 \text{ francs}/105 \text{ francs} = 314 \text{ kg}$. Mais le fait que la fumure BP ait surclassé le NPK chez certains paysans, appelle à la prudence : sans doute existe-il des facteurs culturaux et/ou pédologiques qui en favorisent grandement l'efficacité.

III.2.1.2.6. Facteur clé accroissant l'efficacité

agronomique relative du burkinaphosphate par rapport au NPK

Au delà des antécédents, nous sommes allés plus loin dans notre étude par la recherche de pratiques paysannes qui minimisent la différence de rendement entre le BP et le NPK, donc qui rapproche l'efficacité du BP à celle du NPK.

Dans l'ACP, il est ressorti que l'apport de fumier a été sans effet sur les rendements NPK. L'extrême solubilité de l'engrais et le pH en vigueur auraient donc permis un approvisionnement régulier des plants en éléments nutritifs. Aussi, dans un contexte comme le nôtre, où complexité rime avec multiplicité paramétrique dans l'élaboration du rendement, l'incidence de la matière organique reste d'une appréciation toujours difficile.

En revanche, cet effet organique semble beaucoup plus évident dans le cas du BP, sans doute à cause de son pouvoir solubilisant sur ce phosphate peu soluble. On note en effet que les différences de rendement entre les fumures BP et NPK sont très liées aux quantités de fumier apportées. L'ACP montre bien que l'efficacité agronomique du BP se rapproche de celle du NPK, lorsque les quantités de fumier apportées augmentent. Cette sensibilité des rendements et autres paramètres BP aux apports de fumier aurait vraisemblablement été plus grande si la qualité de ce dernier n'avait pas fait défaut : il s'est agi d'un fumier de parc qui, mêlé de terre, s'est montré forcément moins efficace et quantitativement surestimé. La campagne suivante permettra d'en juger le bien-fondé.

III.2.2 SAISON SECHE 2000

III.2.2.1. RESULTATS

III.2.2.1.1. Effets comparatifs des types de fumure sur quelques paramètres agronomiques.

Le tableau 21 nous fait l'état de l'incidence de chacune des fumures "confrontées" sur le rendement et quelques unes de ses composantes :

Tableau 21: Effets moyens des fumures BP et NPK sur les rendements et les paramètres de rendement (campagne sèche 2000).

FUMURES (cm)	RENDEMENTS (kg/hā)	NOMBRE DE PÂNICULES/m ²	NOMBRE DE TÂLLES/m ²	HAUTEURS DES PLANTS ¹
BP	5201	325	397	87
NPK	4818	331	421	89
T test	NS	NS	NS	NS
Probabilité	0,4215	0,7883	0,2052	0,5514

NB : $\alpha = 0,05$;

NS = non significatif ($P < 0,05$).

Les tests réalisés y sont non significatifs pour la totalité des paramètres considérés: il y a donc équivalence des fumures étudiées quant à leur impact sur les paramètres agronomiques, singulièrement sur les rendements (figure 24).

III.2.2.1.2. Effets comparatifs des types de fumure sur les efficacités relatives et les paramètres économiques.

Au niveau de ces paramètres de comparaison additionnels que sont l'efficacité agronomique relative (EAR), les ratios valeurs sur coûts

(RVC) et les revenus monétaires, les fumures se montrent beaucoup plus divergentes. Aussi, les probabilités révèlent-elles des différences significatives (S), hautement significatives (HS) et très hautement significatives (THS) pour les dites variables prises dans l'ordre précédent (tableau 22).

Tableau 22 : Effets moyens des fumures BP et NPK sur les efficacités agronomiques et les paramètres économiques (campagne sèche 2000).

FUMURES	EAR (%)	RVC	Revenus monétaires (francs CFA/ha)
BP	117	7,9	301623
NPK	100	2,9	205218
T test	HS	THS	S
Probabilité	0,010	0,000	0,049

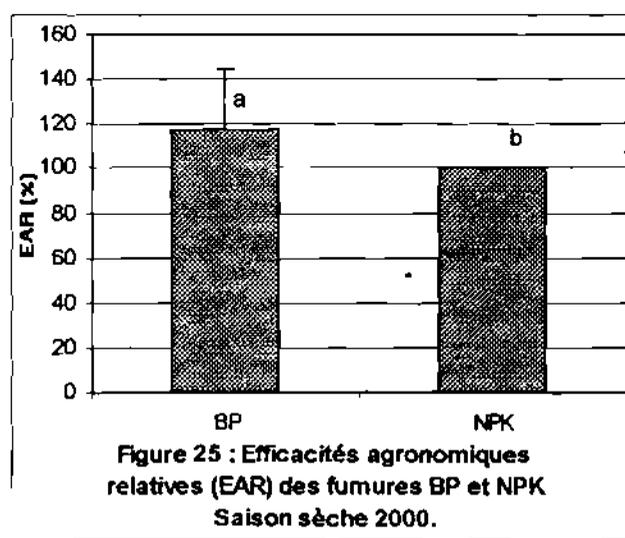
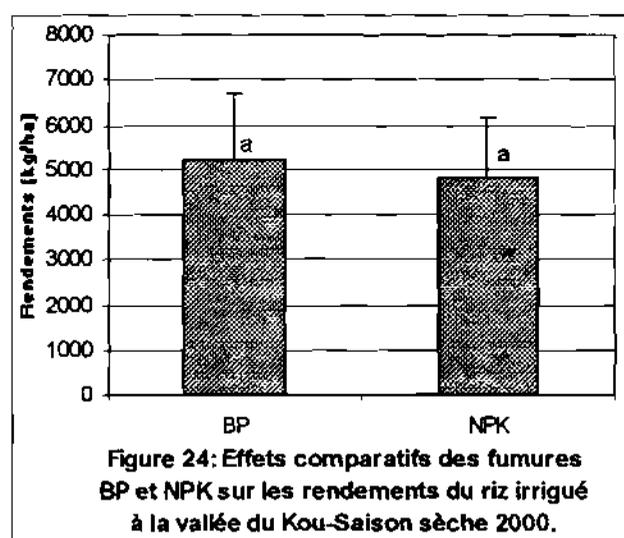
NB : $\alpha = 0,05$;

HS = hautement significatif ($P < 0,01$);

S = significatif ($P < 0,05$) ;

THS = très hautement significatif ($P < 0,001$).

Il convient de signaler que les valeurs consignées dans ce tableau ont été obtenues avec les mêmes formules et les mêmes considérations de prix et de coût que celles décrites aux paragraphes III.2.1.1.2, III.2.1.1.3 et III.2.1.1.4. Les graphiques 25, 26 et 27 suivants en sont une illustration.



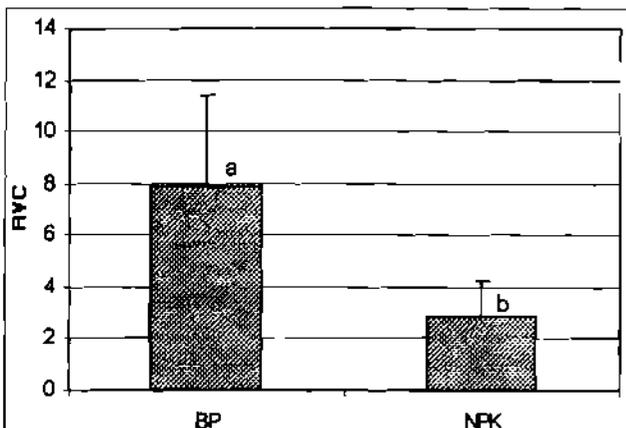


Figure 26: Ratios valeurs sur coûts (RVC) en fonction des types de fumures BP et NPK Saison sèche 2000.

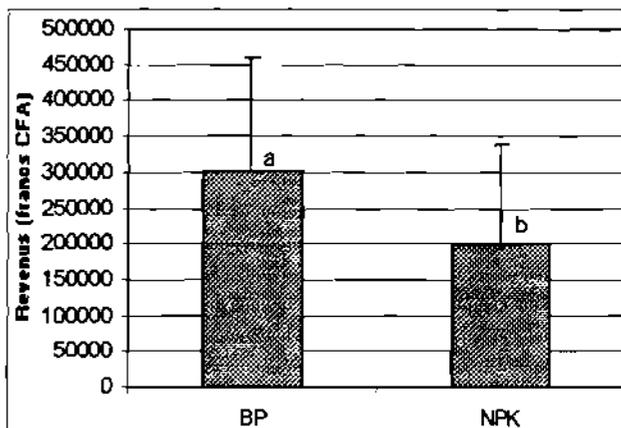


Figure 27: Revenus monétaires moyens par ha en fonction des fumures BP et NPK- Saison sèche 2000.

Les détails de tous ces résultats assez globaux dans leur ensemble, laissent découvrir de très grandes étendues de séries statistiques, si l'on se réfère aux valeurs élevées des écarts-types respectifs des tableaux 23, 24 et 25. Exception faite aux EAR_{NPK} volontairement fixées à 100, et dont l'écart-type apparaît incidemment nul, ces grandes valeurs enregistrées font également témoignage de l'existence d'une forte fluctuation des paramètres calculés, lorsqu'on passe d'un paysan à l'autre (figures 28, 29, 30,31).

Tableau 23 : Effets comparés des fumures BP et NPK sur les efficacités agronomiques relatives des paysans (campagne sèche 2000).

CODES PAYSANS	EAR_{BP}	EAR_{NPK}
1	136	100
2	167	100
3	79	100
4	102	100
5	132	100
6	104	100
7	95	100
8	163	100
9	123	100
10	149	100
11	145	100
12	115	100
13	88	100
14	99	100
15	121	100
16	124	100
17	87	100
18	85	100
MOYENNES	134,21	100
ECARTS-TYPES	68,28	00

Tableau 24 : Effets comparés des fumures BP et NPK sur les rentabilités économiques (ratios valeurs sur coûts)-campagne sèche 2000.

CODES PAYSANS	RVC _{BP}	RVC _{NPK}
1	14,03	4,42
2	14,49	3,72
3	7,25	3,93
4	10,29	4,30
5	9,53	3,10
6	4,86	2,01
7	9,57	4,32
8	3,97	1,04
9	1,77	0,62
10	8,26	2,38
11	6,04	1,79
12	4,88	1,82
13	6,57	3,20
14	10,65	3,24
15	10,27	3,64
16	4,43	1,53
17	10,83	5,36
18	4,15	2,10
MOYENNES	7,88	2,92
ECARTS-TYPES	3,57	1,32

Tableau 25 : Effets comparés des fumures BP et NPK sur les revenus monétaires (francs CFA/ha) des paysans (campagne sèche 2000).

CODES PAYSANS	Revenu _{BP}	Revenu _{NPK}
1	586470	358575
2	606945	286545
3	281445	307547
4	417840	346815
5	384030	220290
6	173715	105840
7	385710	348075
8	133605	4410
9	34695	- 40215
10	326595	144690
11	226845	82845
12	174660	86310
13	250470	231105
14	290580	235515
15	417105	276885
16	154395	44650
17	442410	458010
18	141690	114555
MOYENNES	301623	201303
ECARTS-TYPES	157827	138361

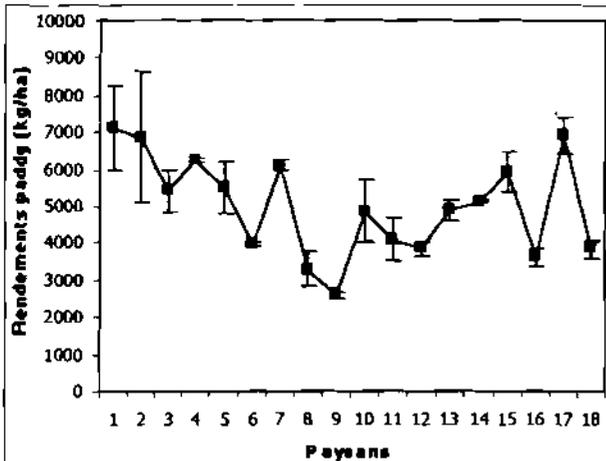


Figure 28 : Effets de la variabilité des blocs sur les rendements-Contre-saison 2000.

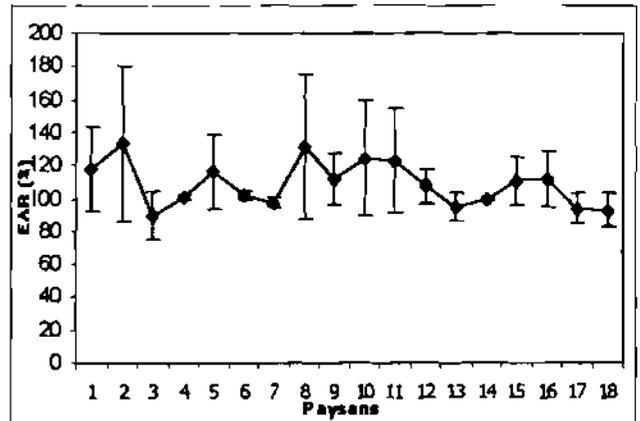


Figure 29 : Effets de la variabilité paysanne sur les efficacités agronomiques relatives-Contre-saison 2000.

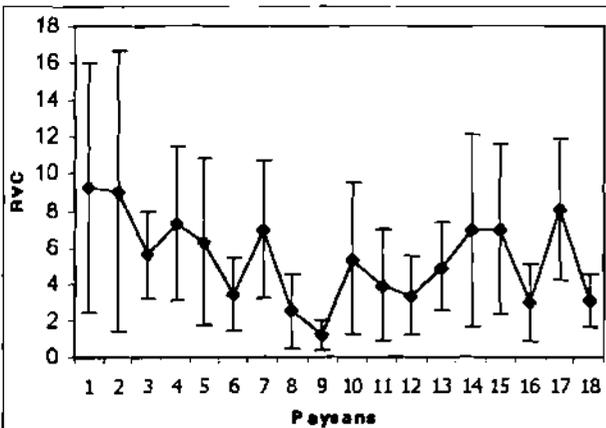


Figure 30 : Effets de la variabilité des blocs sur les rentabilités économiques-Contre-saison 2000.

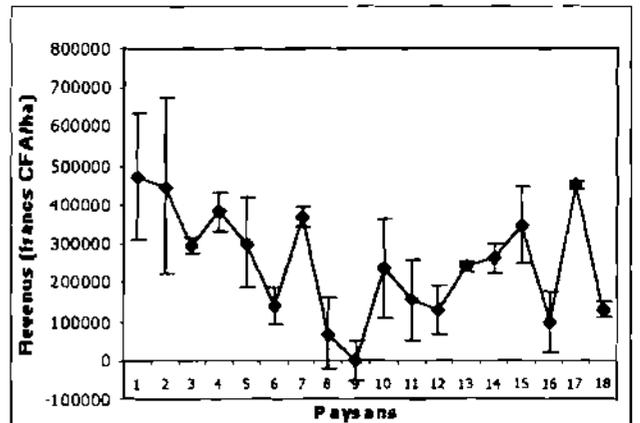


Figure 31 : Effets de la variabilité paysanne sur les revenus monétaires-Contre-saison 2000.

Mais la prépondérance des fluctuations observées ne doit pas faire perdre de vue que la fumure NPK a été non rentable pour 28% des paysans. L'on remarquera à ce propos que chez les producteurs N° 8, 9, 11, 12 et 16, $RVC < 2$ pour le NPK. Qui plus est, le paysan 9 a enregistré une perte financière de 40 215 francs CFA.

Ceci est largement suffisant pour justifier la recherche parmi les pratiques culturales, celles qui rentabilisent le mieux les fumures. C'est ainsi qu'à l'instar de la campagne humide, nous avons procédé à deux analyses en composantes principales, afin d'identifier le(s) facteur(s) qui contribue(nt) le(s) plus à l'expression du rendement, et qui garantit (ssent) donc une bonne rentabilité économique et un bon revenu monétaire.

III.2.2.1.3. Effets des pratiques culturelles paysannes sur l'efficacité des fumures.

Les résultats ci-après présentés ont trait à la première analyse et sont relatifs à la fumure NPK :

DIAGONALISATION

1^{re} LIGNE : VALEURS PROPRES (VARIANCES SUR LES AXES PRINCIPAUX)

2^{me} LIGNE : CONTRIBUTION A LA VARIATION TOTALE (POURCENTAGES EXPLIQUES PAR LES AXES PRINCIPAUX)

AXE 1	AXE 2	AXE 3
3,2224	1,4647	1,2898
40,3 %	18,3 %	16,1 %

ETUDE DES VARIABLES

1^{re} COLONNE : CORRELATIONS ENTRE LES VARIABLES ET LES AXES PRINCIPAUX

2^e COLONNE : CORRELATIONS AU CARRE

VARIABLES COMPOSANTES PRINCIPALES

	AXE 1	AXE 2	AXE 3
DSM **	0,7677	-0,0076	0,5764
DRQ **	0,5639	-0,5880	0,3721
APR **	-0,4561	-0,6494	-0,3601
AUA **	-0,8976	-0,1412	0,2697
AUB **	-0,2502	-0,0870	0,6949
NPK **	-0,8976	-0,1412	0,2697
TYS **	-0,0140	-0,7157	-0,0505
PFS **	-0,6579	0,3708	0,2420

VARIABLES SUPPLEMENTAIRES

	AXE 1	AXE 2	AXE 3
RDT **	-0,2497	0,1017	0,0764
NBP **	-0,6137	0,1038	-0,1292
NBT **	-0,4134	0,1990	0,1043
HTP **	-0,0080	-0,0574	0,0322

Rappels : DSM = date de semis;

DRQ = date de repiquage;

APR = âge des plants au repiquage;

AUA = date du premier apport d'urée;

AUB = date du deuxième apport d'urée;

NPK = date d'apport de l'engrais NPK;

TYS = type de sol;

PFS = profondeur du sol;

RDT = rendement paddy;

NBP = nombre de panicules au m²;

NBT = nombre de talles au m²;

HTP = hauteur des plants à la récolte;

De cette analyse, on retiendra d'entrée de jeu que les trois axes pris en considération expriment 3/4 de l'information contenue dans notre tableau de données (cf. annexe 3). Ce qui correspond à un seuil de représentativité assez intéressant pour permettre l'extrapolation des résultats. De l'étude de variables qui s'en suit, il apparaît que *DSM*, *AUA*, et *NPK* sont les variables qui contribuent les plus à la formation de l'axe 1. Une hiérarchisation de leurs corrélations respectives (0,7677 ; 0,8976 et 0,8976) à cet axe principal se montre favorable à l'attribution à l'axe 1 du qualificatif d'axe de fertilisation, et dans une mesure moindre de celui d'axe de semis. L'examen des variables supplémentaires montre à son tour une liaison beaucoup plus grande du rendement avec cet axe qu'avec les deux autres axes. Si on porte en plus une attention particulière sur la nature des signes des divers coefficients, on en arrive à la conclusion que *RDT* ne s'oppose qu'à *DSM*.

La deuxième analyse relative au BP et ci-dessous rapportée, présente quelques similitudes avec la première; notamment au niveau des trois premiers axes quant à leur suffisance à l'appréhension des 3/4 des informations utiles. Il est également utile de noter que les variables *DSM* et *AUA* contribuent énormément à la formation du premier axe, avec des contributions respectives de 8,8729 et de -0,7702. Toute fois dans ce cas-ci, l'axe 1 est primordialement un axe de semis, avant d'être accessoirement un axe de fertilisation. En tout état de cause, cela ne change en rien la tendance générale selon laquelle l'efficacité des deux fumures est attribuable en premier lieu aux opérations liées au repiquage et de fertilisation.

1^{ère} LIGNE : VALEURS PROPRES (VARIANCES SUR LES AXES PRINCIPAUX)

2^{ème} LIGNE : CONTRIBUTION A LA VARIATION TOTALE (POURCENTAGES EXPLIQUES PAR LES AXES PRINCIPAUX)

AXE 1	AXE 2	AXE 3
2,5106	1,4471	1,1885
35,9 %	20,7 %	17,0 %

ETUDE DES VARIABLES

1^{ère} COLONNE : CORRELATIONS ENTRE LES VARIABLES ET LES AXES PRINCIPAUX

2^{ème} COLONNE : CORRELATIONS AU CARRE

VARIABLES COMPOSANTES PRINCIPALES

	AXE 1	AXE 2	AXE 3
DSM **	0,8729	0,7619 *	-0,1713
DRQ **	0,6801	0,4625 *	0,4586
APR **	-0,4681	0,2191 *	0,7484
AUA **	-0,7702	0,5933 *	0,1219
AUB **	-0,1841	0,0339 *	-0,0173
TYS **	0,0534	0,0028 *	0,7066
PFS **	-0,6611	0,4370 *	-0,3645
			0,0293 *
			0,2103 *
			0,5684 *
			0,0149 *
			0,0003 *
			0,4993 *
			0,1329 *
			-0,3740
			-0,3571
			0,0944
			-0,3560
			0,8364
			-0,0653
			0,1399 *
			0,1275 *
			0,0089 *
			0,1267 *
			0,6996 *
			0,0043 *
			0,0816 *

VARIABLES SUPPLEMENTAIRES

		AXE 1		AXE 2		AXE 3
RDT **	-0,3049	0,0929 *	-0,1084	0,0117 *	0,1912	0,0365*
NBP **	-0,4665	0,2177 *	0,1758	0,0309 *	0,2982	0,0889*
NBT **	-0,5770	0,3329 *	-0,2463	0,0607 *	0,0932	0,0087*
HTP **	-0,1087	0,0118 *	-0,0104	0,0001 *	0,3923	0,1539*
EAR **	-0,1435	0,0206 *	-0,0901	0,0081 *	0,5043	0,2543*

Rappel : EAR = efficacité agronomique relative;

III.2.2.1.4. Evolution de quelques paramètres comparatifs des types de fumure.

L'évolution des tendances propres à chaque type de fumure sur l'ensemble des deux campagnes, nous est paru suffisamment intéressant pour qu'on s'y penche. A cet effet, deux critères fondamentaux ont retenu notre attention : les rendements paddy pour l'aspect agronomique, et les revenus monétaires pour l'aspect économique. L'exploitation judicieuse des résultats a conduit aux tableaux 26 et 27 suivants.

Tableau 26 : Valeurs moyennes comparatives de la formule à base de BP sur l'ensemble des deux campagnes.

FUMURES	Rendements (kg/ha)	Revenus monétaires (francs CFA/ha)
BP 1999	4762	243 250
BP 2000	5201	301 623
T test	NS	S
P	0,31	0,049

NB : $\alpha = 0,05$;

NS = non significatif ($P > 0,05$);

S = significatif ($P < 0,05$).

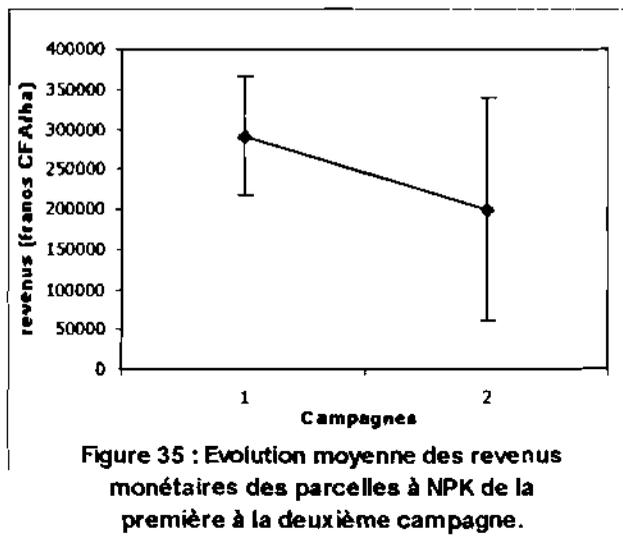
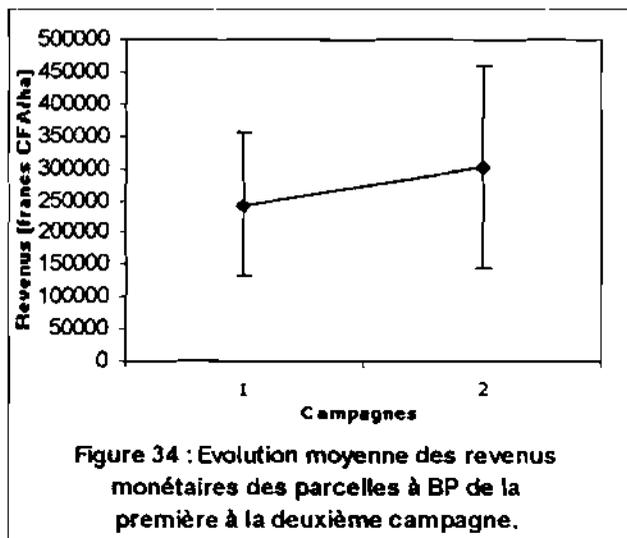
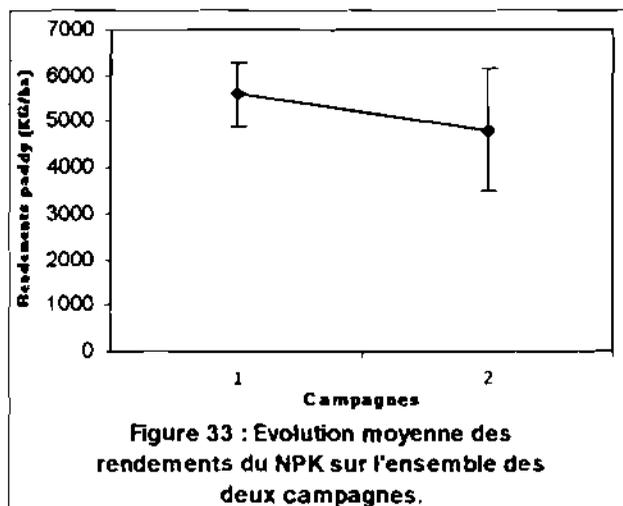
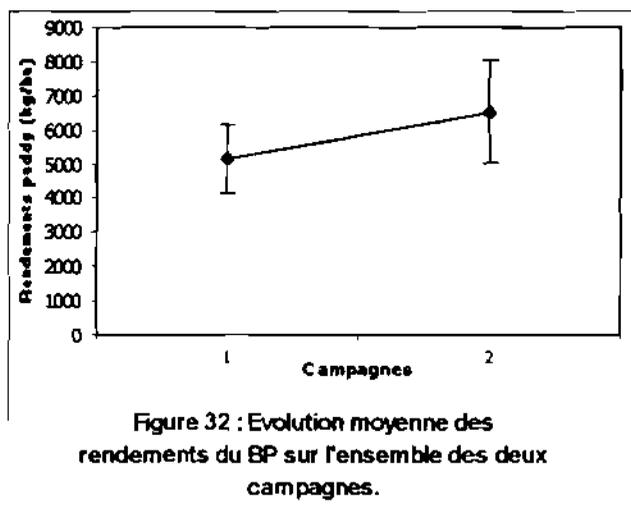
Tableau 27 : Valeurs moyennes comparatives de la formule à base de NPK sur l'ensemble des deux campagnes.

FUMURES	Rendements (kg/ha)	Revenus monétaires (francs CFA/ha)
NPK 1999	5588	286 672
NPK 2000	4817	200 750
T test	S	S
P	0,03	0,019

NB : $\alpha = 0,05$

S = significatif ($P < 0,05$).

On en retiendra qu'au niveau du NPK, les rendements et les revenus des paysans sont globalement restés inchangés; cependant qu'à celui du BP, une tendance sensible à la hausse a été observée pour chacun des facteurs retenus (figures 32, 33, 34 et 35).



III.2.2.2. DISCUSSIONS

III.2.2.2.1. Incidences agronomiques des types de fumures.

Il est un constat qu'il y a lieu de mentionner tout de suite : l'équivalence des deux fumures quant à leur efficacité sur les paramètres agronomiques dont le rendement. Qui plus est, la fumure BP, dont nous apprécierons plus

loin l'évolution sur l'ensemble des deux campagnes, s'est montrée supérieure du point de vue efficacité agronomique relative.

L'absence de toute différence significative entre les deux fumures pour les variables agronomiques mesurées, fait au moins preuve d'un effet résiduel certain du burkinaphosphate dans le sol et sur la culture. Car rappelons le, le BP n'a été apporté qu'une seule fois à la campagne humide précédente. Cet effet de rémanence caractérisant les phosphates naturels locaux ou non, a maintes fois été rapporté par divers auteurs (Gerner et Mokwunye, 1995; Bikienga, 1980; Koura, 1988; Ouédraogo, 1983, Lompo *et al.*, 1995). Il est en grande partie attribuable à la faiblesse relative de la solubilité du produit dans le sol. Lorsqu'en effet, on se réfère à sa solubilisation annuelle de 30% (Ouédraogo, 1983), on est à même de projeter pour août 2000 une quantité résiduelle de 140 kg, sur les 200 kg du produit appliqué en août 1999. Ces calculs un peu hâtifs, auraient pris un sens beaucoup plus réaliste si on y avait inclus les pertes de diverses natures susceptibles d'affecter le BP : lessivage, lixiviation, érosion, prélèvements. Mais le fait que ces pertes soient minimales pour tout phosphore, eu égard à sa faible diffusion dans le sol; et aussi le fait que seulement six mois se soient écoulés entre les saisons et donc depuis l'application effective du BP, sont autant d'arguments qui militent en faveur d'une quantité résiduelle relativement importante de phosphore dans le sol. Quoi qu'il en soit, cet arrière-effet ne saurait occulter le rôle capital que le fumier (dosé à de 5 tonnes/ha) a bien pu jouer dans le processus de dissolution du phosphate. Pour en comprendre véritablement l'action dissolvante, une description du phénomène s'impose. Il s'agit d'un effet difficilement dissociable de celle des microorganismes, et qui tient en plusieurs points. Premièrement, le fumier et plus généralement la matière organique est à même de bloquer les sites d'adsorption des particules inorganiques, en formant avec le fer, l'aluminium et le manganèse des composés stables : c'est là leur effet chélatant mettant en jeu des acides organiques tels que les acides citrique, oxalique, malonique, tartrique, et lactique (Camara, 1985 citant Struthers *et al.*, 1950; Dalton *et al.*, 1952; Manoylavi, 1965). Deuxièmement, ces acides organiques issus du métabolisme microbien sont susceptibles d'attaquer le phosphate pour le solubiliser (Dommergues, 1970). Selon Duff *et al.* (1963), cités par Camara (1985), l'acide hydroxy ou 2-kétogluconique est celui qui solubilise le mieux l'apatite. Tardieux-Roche (1965) n'en croyait pas moins lorsqu'il émettait l'hypothèse selon laquelle même si les dits acides ne suffisait pas pour induire une variation importante du pH en milieu réel, ils pouvaient se montrer efficaces à l'échelle des "microhabitats" formés autour des particules de phosphate

par les microorganismes. Troisièmement, il existe au niveau du phosphore la possibilité de se complexer avec l'humus sous forme d'humophosphate (Soltner, 1986); ce qui faciliterait son assimilation et empêcherait en même temps sa rétrogradation et son immobilisation. Quatrièmement, certains microorganismes, proliférant en présence de matière organique, seraient à mesure d'assimiler directement les particules de phosphate insoluble et de les accumuler sous forme de polyphosphate avant de les libérer sous forme directement assimilable par la plante (Bado, 1985, citant Gros, 1974).

Tout ceci concourt à expliquer au moins l'effet positif de la matière organique sur l'efficacité du BP et les rendements.

III.2.2.2. Incidences des pratiques culturales sur les types de fumure.

C'est à ce niveau que se situe tout l'intérêt des analyses en composantes principales (ACP). On en retiendra de façon générale une augmentation des rendements avec les dates de semis plus précoces. Le CERIC (1979) rapporte à ce sujet la mi-janvier comme meilleure date de semis des pépinières. Il faut aussi noter que ces rendements sont d'autant plus élevés que les premiers apports d'urée sont plus tardifs. Des tendances similaires ont été observées à la campagne hivernale 1999. L'explication selon laquelle il faille procéder relativement tard à cette opération, afin que les racines puissent se remettre suffisamment de leur traumatisme de repiquage, semble donc en voie de confirmation. Il en est apparemment de même pour le NPK, dont l'apport est tout aussi idéalement fixé au 10^{ème} jour après le repiquage par le CERIC. L'appréciation de l'efficacité agronomique du BP par rapport au NPK permet de dire que le précocité des dates des deuxièmes apports d'urée, est beaucoup plus bénéfique au BP qu'au NPK. Autrement dit tout retard consenti au niveau de ce deuxième apport est beaucoup plus préjudiciable au BP qu'au NPK. Sans doute que la consistance de la dose à ce niveau, valant deux fois celle de la fumure BP, a-elle permis de répondre plus promptement à l'urgence nutritionnelle consécutive à un double préjudice de retard et d'insuffisance en eau.

Sans déprécier les observations "statiques" que nous avons eu jusque là à l'endroit des deux fumures, nous nous sommes adonnés à une appréciation beaucoup plus dynamique, qui prenne donc en compte les tendances évolutives des fumures lorsqu'on passe d'une campagne à l' autre.

III.2.2.2.3. Bilan évolutif des deux types de fumure sur les deux campagnes.

On pourrait se résumer en termes simples à ce niveau pour dire que l'effet de l'efficacité du BP s'est nettement accrue au point d'atteindre et même de dépasser celle du NPK. Notre intention n'est pas de revenir sur le rôle du fumier et l'arrière effet des phosphates naturels longuement sus-évoqués, mais plutôt de poser la question fondamentale des implications mêmes des formules à base d'engrais solubles (fumure NPK), et de celles des formules à base d'amendement et d'engrais insolubles (fumure fumier + BP). Dans le premier cas de figure, il y a toujours risque d'absorption excessive d'un ou de plusieurs éléments, pouvant freiner l'absorption d'un ou de plusieurs autres (antagonisme d'absorption). Ces risques sont d'autant plus grands que les engrais employés sont plus facilement solubles et assimilables, comme c'est le cas de l'engrais NPK utilisé. De telles fumures, élevant instantanément la concentration de la solution du sol en un seul ou en un petit nombre d'ions nutritifs, peuvent s'avérer facilement déséquilibrées; à moins que l'on puisse apporter simultanément, et dans les proportions désirées par la plante, la plupart des éléments qu'elle demande. Mais cette recherche d'une telle fumure "équilibrée" est très difficile, sinon impossible, étant données les exigences très variables des plantes selon les espèces, la saison, le type de sol, l'année, etc. (Soltner, 1986) Ceci pourrait expliquer en partie la baisse sensible de rendement accusé par le fumure NPK, baisse estimée à 771 kg/ha en moyenne (cf. tableau 27).

En revanche, dans le deuxième cas de figure (fumure BP + fumier), les risques d'absorption déséquilibrée sont très minimes, grâce à une alimentation basée sur les apports organiques (amendements et engrais organiques), et les engrais minéraux insolubles. De telles conditions font de l'activité de la rhizosphère et des microorganismes l'élément clé de l'absorption minérale : les ions nutritifs restent combinés sous des formes organiques temporaires (produits transitoires, humophosphates), ou fixés sur le complexe argilo-humique, aussi longtemps que la plante n'en a pas besoin. Ils ne sont prélevés par l'association microbes-racines qu'au fur et à mesure de leur utilisation par la plante, sans que ne se produisent une consommation "de luxe" de certains ions, et l'absorption insuffisante de certains autres (Soltner, 1986). Cette deuxième option semble plus adéquate à la résorption du problème de lixiviation. De plus elle permet la fourniture de certains éléments dont la déficience pourrait se poser comme problème à plus ou moins long

terme, lorsque ce problème n'est pas déjà avéré. La hausse de 439 kg/ha observée à ce niveau n'est donc pas hasardeuse. Surtout quant on sait que contrairement à première saison, la fumure BP a inclus en contre-saison un élément majeur conféré par le fumier : le potassium. La contribution de cet élément aux processus de stimulation des enzymes, mais aussi à la réponse du riz au phosphore (ADRAO, 1995) pourrait ainsi être explicative de l'incidence bienfaitrice du fumier sur les rendements des parcelles BP de la dernière saison. Nous rappelons à ce sujet que la tonne de fumier a été estimée comme apportant 6 kg K₂O (ministère de la coopération et du développement, 1991).

En attendant que la poursuite des travaux confirme l'intérêt de la fumure BP, et en établisse la durabilité, nous pouvons nous attarder sur quelques différences économiques existant entre les fumures à l'étude. D'abord au niveau de leur différence de coût : valant seulement 33 000 francs à la campagne hivernale 1999, elle est exponentiellement montée à 60 000 francs la campagne sèche 2000, soit une hausse de près de 82 %. Sur l'ensemble de l'année, cela donne lieu à une différence moyenne de 46 500 francs CFA, avec pour plus chère fumure le NPK. De plus, chaque franc investi dans les fumures rapporte dans l'ordre chronologique des campagnes, 5/4 de fois, et 8/3 de fois plus d'argent avec le BP qu'avec le NPK. Autrement dit, chaque franc investi dans le BP donne droit sur l'ensemble de l'année, à quatre fois plus d'argent par rapport à chaque franc investi dans le NPK. Ce volet d'appréciation économique serait plus complet si on y incluait les revenus monétaires. Pour signaler que la différence moyenne annuelle à ce niveau se chiffre à 25 677 francs, à l'avantage du BP. Cette situation découle du fait qu'au niveau du NPK, les rendements et les revenus des paysans sont statistiquement restés inchangés, cependant qu'à celui du BP, une tendance sensible à la hausse a été observée pour chacun de ces indicateurs. En termes beaucoup plus exhaustifs, il y a eu avec le NPK une réduction du rendement de 771 kg, correspondant à une valeur monétaire de (771 kg X 105 frcs/kg =) 80 955 francs CFA. En ajoutant à cela les (105 000 frcs - 95 000 frcs =) 10 000 francs d'investissement additionnel relatif à la deuxième saison, on aboutit pour chaque hectare cultivé à un manque à gagner financier frôlant les 100 000 francs.

A contrario, le BP laisse enregistré une hausse de rendement de 439 kg en moyenne, soit en valeur monétaire (438 kg X 105 frcs/kg =) 46 095 francs CFA. Si en plus, l'on tient compte de l'investissement différentiel de (62 000 frcs - 45

000 frcs => 17 000 francs caractérisant les deux campagnes, on en arrive à un gain monétaire additionnel de (46 095 frcs + 17 000 frcs =>) 63 095 francs CFA/ha.

NB : 105 francs = prix de vente du kilogramme de paddy;

105 000 francs = coût de la fumure NPK pour la campagne sèche 2000;

95 000 francs = coût de la fumure NPK pour la campagne humide 1999;

62 000 francs = coût de la fumure BP pour le campagne humide 1999;

45 000 francs = coût de la fumure BP pour le campagne sèche 2000 (le prix du kilogramme de fumier a été fixée à 5 francs CFA).

CONCLUSION GENERALE

Au terme de notre étude, il ressort des essais en station une différence non significative entre le burkinaphosphate et le triple superphosphate, ainsi qu'une faiblesse du niveau global des rendements. Ceux-ci n'ont pas été influencés par le type de phosphate utilisé, pas plus que par les variations des doses de P_2O_5 . Les raisons probables sont nombreuses et ont été largement évoquées, mais les analyses complémentaires des sols, des pailles et des grains en cours, permettront certainement de préciser davantage ces résultats.

Quant au test mené en milieu paysan, on peut en retenir une certaine supériorité de la fumure au NPK sur la fumure alternative à base de burkinaphosphate, du moins lorsque cette dernière est appliquée sans matière organique. En dehors de la rentabilité économique, la deuxième citée a été moins bien expressive sur les paramètres tels que le rendement, le nombre de panicules, le nombre de talles, et le revenu net, si l'on s'en tient à la première campagne. Ces résultats sont l'objet de fortes fluctuations consécutives à la grande variabilité observée entre les paysans. De variabilité, il a aussi été question lors de la campagne sèche. Cela renvoie nécessairement aux différences opérées dans l'exécution des tâches culturales, mais aussi à des facteurs d'autres ordres que nous n'avons pu appréhender ici : caractéristiques chimiques, caractéristiques biologiques initiales des sols, niveau de toxicité ferreuse, etc.

De toutes les pratiques culturales, celles qui ont présidé fortement à l'expression des rendements sont les paramètres liés au repiquage : période de semis, période de repiquage, et âge des plants au repiquage. Il semble en plus que l'efficacité agronomique de la fumure BP+Urée se rapproche de celle du NPK+ Urée lorsque les quantités de fumier appliquées augmentent. Ce constat, à peine perceptible à la première campagne, a été confirmé avec les résultats de la saison sèche où le fumier a été apporté à la dose de 5 tonnes/ha. Ainsi est-il fait la double révélation d'une nécessaire adjonction de substrats carbonés au BP, mais aussi d'un effet résiduel certain du phosphate. Si par la suite il se trouve confirmé l'existence d'un tel arrière-effet en dépit de la condition de submersion, on aboutira irrémédiablement dans un terme relativement court à un processus régulier d'approvisionnement permanent de phosphore à la culture : le BP apporté à la première saison alimentera la plante la saison suivante, pendant qu'à la quatrième saison, l'on se contentera du BP qui aura été fourni à la troisième, et ainsi de suite. Mais tout cela suppose que les apports se fassent régulièrement,

et que de fortes doses servent de correction éventuelle et de "CAPITAL FIXE" (Smaling, 1995) lors de la première année de l'opération.

La poursuite déjà amorcée de la présente étude sur les campagnes à venir jugera mieux du bien-fondé de la vulgarisation de la formule à base de burkinaphosphate à la vallée du Kou et même au delà, de même qu'elle précisera les doses appliquées. Pour l'instant, son degré de conciliation avec le souci permanent du paysan de minimiser ses risques alimentaire et financier en raisonnant ses coûts de production (Pieri, 1989) lui attribue de bonnes raisons de croire en elle. Avec le faible niveau d'investissement qui la caractérise, sa confirmation contribuerait à résoudre la question insoluble d'insuffisance financière qui affecte les paysans à chaque début de campagne agricole. Aussi se trouverait-elle en phase avec les concepts nouveaux de l'agronomie moderne : bas coûts de production, durabilité du système de production, bons rendements, bonnes rentabilités économiques, et revenus monétaires satisfaisants.

La riziculture constitue un potentiel non négligeable pouvant consommer une importante quantité de BP. Il existe à l'heure actuelle plus de 22 500 ha de terres consacrées à la riziculture (Bado, 1991). Si l'on parvenait à cette vulgarisation, c'est un marché potentiel de 1,028 milliards de francs que l'on dégagerait, pour une consommation annuelle de 190780 tonnes de phosphate. Ainsi aboutirait-on à :

- une valorisation des ressources locales et à une réduction du coût de production du riz;

- une réduction non négligeable des importations d'engrais;

- un marché important pour la société nationale d'exploitation des phosphates;

- une formule de fumure qui prenne en compte la fumure organique dans le système de

production ; ce qui permettrait de maintenir aussi longtemps que possible la fertilité des sols sur les périmètres.

Il y va de la rentabilité des gros investissements consentis dans ces aménagements.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADRAO, 1975 : Le périmètre de riziculture irriguée de la vallée du Kou (Haute-Volta), 26 pages.

ADRAO, 1993 : Tendances rizicoles en Afrique Sub-Saharienne. Synthèse des statistiques sur la production, la commercialisation, et la consommation du riz. 10 pages.

ADRAO, 1995 : Formation en production rizicole-Manuel du formateur. Sayce Publishing, Royaume-Uni. 305 pages.

ADRAO, 1998 : Rapport annuel. 47 pages.

BADO B. V., 1998 : Synthèse des acquis de recherche sur la fertilité du sol et de la fertilisation du riz à la vallée du Kou. Rapport INERA. 42 pp + annexes.

BADO B.V., **HIEN V.**, 1998 : Efficacité agronomique des phosphates naturels du Burkina Faso sur le riz pluvial en sol ferrallitique. Cahiers Agricultures, 7 :236-8.

BADO B.V., 1985 : Amélioration de l'efficacité des phosphates naturels par l'utilisation des matières organiques. Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur du développement rural, option agronomie. Institut du Développement Rural (IDR), Université de Ouagadougou, Burkina Faso. 124 pages.

BADO B.V., 1990 : Etude du burkinaphosphate en riziculture. Rapport final d'une étude conjointe IN.E.R.A.-Projet Phosphate, financée par la coopération allemande (GTZ), Burkina Faso, 25 pages + annexes.

BADO B.V., 1991 : Etude de l'efficacité du burkinaphosphate en riziculture. IN.E.R.A., Ouagadougou, Burkina Faso. 25 pages + annexes.

BADO B.V., **LOMPO F.**, **SEDOGO M.P.**, 1999 : L'efficacité agronomique des phosphates naturels du Burkina Faso: Une synthèse bilan des acquis de recherche. 20 pages.

BADO, 1998 : Synthèse des acquis de recherche sur la fertilité du sol et la fertilisation du riz à la vallée du Kou. Rapport INERA, Ouagadougou, Burkina Faso. 42 pages + annexes.

BAEYENS J., 1967 : Nutrition des plantes de culture ou physiologie appliquée aux plantes agricoles. Editions NAUWELAERTS, Louvain, Belgique. 678 pages.

BIKIENGA M., **SEDOGO M.**, **OUATTARA D.**, 1981 : Utilisation agricole des phosphates naturels de Haute-Volta. Projet Phosphate (Rapport de synthèse). 38 pages.

BIKIENGA M., 1980 : Utilisation des phosphates naturels de Kodjari pour la fabrication d'engrais phosphatés. Projet Phosphate. 29 pages.

BONZI M., 1979 : Résultats des premières investigations sur les insectes ravageurs du riz en Haute- volta. Séminaire de l'ADRAO sur les méthodes intégrées de lutte contre les maladies et les insectes du riz. Bobo-Dioulasso. Haute-Volta.

BOYER J., 1982 : Les sols ferrallitiques :facteurs de fertilité et utilisation des sols, Tome X. ORSTOM, 383 pages.

BUNASOLS, 1985 : Etat de connaissance de la fertilité des sols au Burkina Faso. Documentation technique N°1. Section fertilité des sols/Assistance bilatérale néerlandaise. 50 pages + annexes.

CAMARA I., 1985 : Contribution à l'étude du phosphore et de la fertilisation phosphatée du riz irrigué dans les sols de rizière de la vallée du fleuve Sénégal. Thèse présentée à l'école des gradués de l'université LAVAL pour l'obtention du grade de Ph.D., Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation. 191 pages.

CERCI, 1978 : Riz et cultures irriguées-Synthèse 1978. 58 pp.

CERCI, 1979 : Riz et cultures irriguées-Synthèse 1979. 45 pp.

CERCI, 1985 : Fiches techniques du riz, des cultures irriguées et des cultures fourragères.

CHIEN S. H., 1977 : Dissolution of phosphate rocks in a flooded acid soil . Soil Sci. Soc. Am. J. ,Vol. 41, Pages 1106 à 1109.

CHIEN S. H., 1977 : Dissolution rates of phosphate rocks. Soil Sci. Soc. Am. J. ,Vol. 41, Pages 656-657.

COMPAORE E. ,GRIMAL J.-Y. ,MOREL J.-L. ,FARDEAU J.-C., 1997 : Efficacité du phosphate de Kodjari (Burkina Faso). Cahiers Agricultures, Vol.6 ,N°4, Pages 239 à 314.

DEMBELE Y., DUCHESNE J., OUATTARA S., ZIDA Z.,1999 : Evolution des besoins en eau du riz irrigué en fonction des dates de repiquage (Burkina Faso, Région centre). Cahiers Agricultures, Vol.8 ,N°2, Pages 87 à 150.

FAO, 1966 : Réponse du riz aux applications d'engrais. 74 pages.

FARDEAU J.C., CHABOUIS C., HETIER J.M., 1977 : Méthode cinétique de dilution isotopique des ions PO_4 et K: application à l'analyse des modifications de fertilité des essai de très longue durée. Science du Sol, 2: 111-122.

FALISSE et LAMBERT, 1994 : Fertilisation minérale et organique, *in* Agriculture moderne : Bases physiologiques et agronomiques de la production végétale. Coordonnateurs : El Hassani T. A. et Persoons E. 544 pages.

GACHON L., 1975 : Fermes modernes. La fertilisation raisonnée. 154 pp.

GBIKPI P.,1996 : Agriculture burkinabè. Projet Appui au PASA. 51 pages.

GERNER H. et MOKWUNYE A. U., 1995 : L'utilisation des phosphates naturels pour une agriculture durable en Afrique de l'Ouest. Centre International pour la Gestion de la fertilité des sols – AFRIQUE.

GUINKO S., 1984 : Végétation de la Haute-Volta. Thèse de doctorat d'Etat. Université de Bordeaux III. 318 pages.

HIEN F., 1982 : Evaluation des essais avec le phosphate naturel et les phosphates améliorés fabriqués à partir du phosphate de Kodjari sur arachide, coton, mil, sorgho. Rapport d'ingénieur en techniques du développement rural. Option agronomie. Université de Ouagadougou 67 pages.

KOURA D., 1988 : Fertilisation des cultures vivrières-Contribution à la recherche de formules de fumure à base de phosphates naturels. 103 pages + annexes.

LOMPO F., SEDOGO M., HIEN V., 1995 : Impact agronomique du phosphate et de la dolomie du Burkina Faso, in L'utilisation des phosphates naturels pour une agriculture durable en Afrique de l'Ouest. Editeurs Gerner H. et Mokwunye A.U. Centre International pour la Gestion de la fertilité des sols-Afrique.

LOZET J. et MATHIEU C., 1990 : Dictionnaire de Science du sol. Techniques rurales et Documentation-Lavoisier. 383 pages.

LUH B. S., 1980 : Rice :Production & Utilization. Avi Publishing Company, INC, Westport, Connecticut. 925 pages.

MEY P., SAYAG D., ANDRE L., 1986 : Solubilisation des roches phosphatées par voie chimique ou microbiologique. Note présentée par Gachon L. C.R. Acad. Agri. Fr. ,72,N°1, pp 81-89.

MINISTERE DE LA COOPERATION ET DU DEVELOPPEMENT, 1991 : Mémento de l'agronome. Collection "Techniques rurales en Afrique". 1635 pages.

NEBIE B., 1995 : Etude des facteurs agro-pédologiques déterminant la production du riz irrigué dans la vallée du Kou au Burkina Faso. Thèse présentée en vue d'obtenir le grade de Docteur-ingénieur, Option sciences agronomiques. FACulté des Sciences et Techniques (FAST) de l'université nationale de Côte-d'Ivoire. 191 pages.

OUATTARA S., VAN HOVE, 1999 : Rapport d'activités 1998/1999. INERA. 11pp.

OUEDRAOGO K., 1990 : Valorisation des phosphates naturels de Kodjari en riziculture. Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur du développement rural, Option agronomie. Institut du Développement Rural (IDR), Université de Ouagadougou, Burkina Faso. 60 pages.

OUEDRAOGO M., 1983 : Arrières-effets du phosphate naturel et des phosphates améliorés de la Haute-Volta. Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur du développement rural, Option agronomie. Institut du Développement Rural (IDR), Université de Ouagadougou, Burkina Faso. 72 pages.

PIERI C., 1989 : Fertilité des terres de savanes : bilan de trente années de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. CIRAD, 444 pages.

PSSA, 1999 : Evaluation des activités de la phase pilote du PSSA- Année 1998.

SANCHEZ P. A., 1976 : Properties and management of soils in the tropics. A Wiley-Interscience Publication, 618 pages.

SANON S., 1985 : Contribution à l'étude d'*Azolla sp.* et à son utilisation en riziculture. Mémoire d'ingénieur. Option agronomie. Institut du Développement Rural-Université de Ouagadougou 87 pages + annexes.

SAWADOGO J. A., 1986 : Cours d'Agronomie et Techniques Culturelles du Riz. Document INERA.

SERE Y., 1994 : Bilan des recherches en défense des cultures, *in* Bilan des activités de recherche rizicole au Burkina Faso. Pp 44-65.

SERE Y., 1984 : Synthèse des travaux sur la pyriculariose du riz au Burkina Faso. Doc. Roneot. IVRAZ/PLI, 21pp.

SIE M., 1986 : Production et amélioration de la riziculture. Session de formation INERA/FAO. Rap. Multigr. 24 pages.

SINARE Y.I., DEMBELE Y., 1994 : Bilan de la recherche en matière d'irrigation, *in* Bilan des activités de recherche au Burkina Faso. INERA. Pp 38-43.

SMALING E., 1995 : Le bilan peut paraître satisfaisant alors qu'il n'y a rien à extraire: stocks et flux d'éléments nutritifs dans les sols de l'Afrique de l'Ouest. Besoins en éléments nutritifs et disponibilité des ressources minérales locales, *in* L'utilisation des phosphates naturels pour une agriculture durable en Afrique de l'Ouest. Editeurs Gerner H. et Mokwunye A. U. Centre International pour la Gestion de la fertilité des sols en Afrique.

SOLTNER D., 1986 : Les bases de la production végétale - Tome I. 14^{ème} édition. Collection Sciences et Techniques Agricoles. 464 pp.

SOURWEMA B., 1987 : Etude de croissance et de productivité de nouvelles souches d'*Azolla* introduites au Burkina Faso. Mémoire d'ingénieur. Option agronomie. Institut du Développement Rural-Université de Ouagadougou.

TAPSOBA M., 1997 : Contribution à l'étude des besoins nutritifs du riz pluvial dans la zone Ouest du Burkina Faso. 72 pages + annexes. Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur du développement rural, Option agronomie. Institut du Développement Rural (IDR), Université de Ouagadougou, Burkina Faso.

TARDIEUX A. R., 1965 : Phosphate naturel et microflore du sol. Annales Agronomiques, volume 17, N° 5, Pages 481 à 528.

WOPEREIS M.C.S., BADO B. V., BARRO S. E., 1998 : Synthèse des résultats acquis sur la gestion de la fertilité des sols à la vallée du Kou. 4 pp.

WOPEREIS M.C.S., DONOVAN C., NEBIE B., GUINDO D., N'DIAYE M. K., sous presse : Soil fertility management in irrigated systems in the Sahel and Savanna regions of West Africa. Part I. Agronomic analysis. Field Crops Research.

Annexes

Annexe 1 : Tableau général des données agronomiques paysannes

Codes paysans	N° du lot	N° parcelle	Répétitions	Traitements	Rendements	Nb Panic/m ²	Nb Talles/m ²
1	391	5506	1	1	4689	290	339
1	391	5506	1	2	6146	311	456
2	467	48A07	2	1	5618	329	363
2	467	48A07	2	2	6460	347	479
3	546	4A108	3	1	3043	272	347
3	546	4A108	3	2	5024	327	375
4	613	6614	4	1	5532	208	258
4	613	6614	4	2	5852	216	463
5	456	51A05	5	1	4687	285	476
5	456	51A05	5	2	5656	395	526
6	432	4211	6	1	5087	250	291
6	432	4211	6	2	5606	290	369
7	218	1A302	7	1	5924	208	359
7	218	1A302	7	2	6384	278	425
8	436	4B203	8	1	5297	247	322
8	436	4B203	8	2	6182	292	398
9	50	2501	9	1	3609	335	379
9	50	2501	9	2	4096	347	436
10	497	4212	10	1	6859	358	380
10	497	4212	10	2	6555	405	445
11	321	2426	11	1	3762	203	331
11	321	2426	11	2	4619	333	490
12	299	1A711	12	1	4426	205	243
12	299	1A711	12	2	4719	235	261
13	333	1101	13	1	3117	250	336
13	333	1101	13	2	4764	302	392
14	302	18A01	14	1	5791	216	235
14	302	18A01	14	2	5317	375	440
15	201	1A204	15	1	4142	138	182
15	201	1A204	15	2	5833	219	228
16	832	6104	16	1	4317	228	298
16	832	6104	16	2	5500	258	316
17	114	3306	17	1	5130	279	337
17	114	3306	17	2	5722	340	416
18	808	6202	18	1	4689	205	236
18	808	6202	18	2	6145	246	363

Codes paysans	Répétitions	Traitements	Poids(mg)1000 grains	Hauteurs plants	Dates Semis	Dates Repiquage	Agés plants repiqués
1	1	1	22244	92,55	30/06/1999	04/08/1999	35
1	1	2	23213	101,97	30/06/1999	04/08/1999	35
2	2	1	24584	93,2	02/06/1999	05/08/1999	64
2	2	2	26415	92,07	02/06/1999	05/08/1999	64
3	3	1	23482	80,57	30/06/1999	05/08/1999	36
3	3	2	24456	86,75	30/06/1999	05/08/1999	36
4	4	1	24709	87,47	10/07/1999	06/08/1999	29
4	4	2	24215	91,27	10/07/1999	06/08/1999	29
5	5	1	23672	94,63	24/06/1999	06/08/1999	43
5	5	2	24157	94,47	24/06/1999	06/08/1999	43
6	6	1	23595	83,17	29/06/1999	06/08/1999	38
6	6	2	24881	88,87	29/06/1999	06/08/1999	38
7	7	1	24784	93,89	08/07/1999	07/08/1999	30
7	7	2	26109	102,14	08/07/1999	07/08/1999	30
8	8	1	23609	87,13	30/06/1999	09/08/1999	40
8	8	2	24411	91,23	30/06/1999	09/08/1999	40
9	9	1	23775	99,27	10/07/1999	09/08/1999	30
9	9	2	24214	107,37	10/07/1999	09/08/1999	30
10	10	1	25700	91,3	11/07/1999	10/08/1999	30
10	10	2	25530	92,93	11/07/1999	10/08/1999	30
11	11	1	24003	92,93	23/07/1999	12/08/1999	16
11	11	2	24714	89,6	23/07/1999	12/08/1999	16
12	12	1	27638	85,5	20/07/1999	17/08/1999	28
12	12	2	25053	85,6	20/07/1999	17/08/1999	28
13	13	1	23056	78,43	20/07/1999	17/08/1999	28
13	13	2	25112	90,68	20/07/1999	17/08/1999	28
14	14	1	23504	76,4	16/07/1999	18/08/1999	33
14	14	2	25127	85,47	16/07/1999	18/08/1999	33
15	15	1	23332	76,93	10/07/1999	20/08/1999	41
15	15	2	23029	84,97	10/07/1999	20/08/1999	41
16	16	1	24513	78,23	27/07/1999	23/08/1999	27
16	16	2	22939	85,93	27/07/1999	23/08/1999	27
17	17	1	21633	79,43	25/07/1999	23/08/1999	29
17	17	2	23820	79,06	25/07/1999	23/08/1999	29
18	18	1	22913	79,43	27/07/1999	27/08/1999	31
18	18	2	25388	85,45	27/07/1999	27/08/1999	31

Codes paysans	Répétitions	Traitements	Dates désherbage	1er Apport d'urée	2è Apport d'urée	Date d'apport du BP
1	1	1	10/09/1999	16/08/1999	20/09/1999	-
1	1	2	10/09/1999	16/08/1999	20/09/1999	04/08/1999
2	2	1	10/09/1999	18/08/1999	22/09/1999	-
2	2	2	10/09/1999	18/08/1999	22/09/1999	05/08/1999
3	3	1	10/09/1999	18/08/1999	22/09/1999	-
3	3	2	10/09/1999	18/08/1999	22/09/1999	05/08/1999
4	4	1	05/09/1999	19/08/1999	23/09/1999	-
4	4	2	05/09/1999	19/08/1999	23/09/1999	06/08/1999
5	5	1	02/09/1999	19/08/1999	21/09/1999	-
5	5	2	02/09/1999	19/08/1999	21/09/1999	06/08/1999
6	6	1	02/09/1999	21/08/1999	23/09/1999	-
6	6	2	02/09/1999	21/08/1999	23/09/1999	06/08/1999
7	7	1	27/08/1999	21/08/1999	24/09/1999	-
7	7	2	27/08/1999	21/08/1999	24/09/1999	07/08/1999
8	8	1	17/09/1999	25/08/1999	26/09/1999	-
8	8	2	17/09/1999	25/08/1999	26/09/1999	09/08/1999
9	9	1	04/09/1999	19/08/1999	24/09/1999	-
9	9	2	04/09/1999	19/08/1999	24/09/1999	09/08/1999
10	10	1	26/08/1999	26/08/1999	26/09/1999	-
10	10	2	26/08/1999	26/08/1999	26/09/1999	10/08/1999
11	11	1	08/09/1999	27/08/1999	27/09/1999	-
11	11	2	08/09/1999	27/08/1999	27/09/1999	12/08/1999
12	12	1	06/09/1999	29/08/1999	05/10/1999	-
12	12	2	06/09/1999	29/08/1999	05/10/1999	17/08/1999
13	13	1	15/09/1999	29/08/1999	05/10/1999	-
13	13	2	15/09/1999	29/08/1999	05/10/1999	17/08/1999
14	14	1	10/09/1999	26/08/1999	04/10/1999	-
14	14	2	10/09/1999	26/08/1999	04/10/1999	18/08/1999
15	15	1	25/09/1999	30/08/1999	06/10/1999	-
15	15	2	25/09/1999	30/08/1999	06/10/1999	20/08/1999
16	16	1	12/09/1999	03/09/1999	16/10/1999	-
16	16	2	12/09/1999	03/09/1999	16/10/1999	23/08/1999
17	17	1	16/09/1999	03/09/1999	15/10/1999	-
17	17	2	16/09/1999	03/09/1999	15/10/1999	23/08/1999
18	18	1	12/09/1999	08/09/1999	16/10/1999	-
18	18	2	12/09/1999	08/09/1999	16/10/1999	27/08/1999

Codes paysans	Répétitions	Traitements	Date d'apport de NPK	Types Sols	Quantités de fumier	Profondeurs des sols (cm)
1	1	1	-	2	0	3
1	1	2	16/08/1999	2	0	3
2	2	1	-	1	0	2
2	2	2	18/08/1999	1	0	2
3	3	1	-	1	0	3
3	3	2	18/08/1999	1	0	3
4	4	1	-	1	0	3
4	4	2	19/08/1999	1	0	3
5	5	1	-	2	0	3
5	5	2	19/08/1999	2	0	3
6	6	1	-	1	0	3
6	6	2	21/08/1999	1	0	3
7	7	1	-	1	0	2
7	7	2	21/08/1999	1	0	2
8	8	1	-	2	0	2
8	8	2	25/08/1999	2	0	2
9	9	1	-	1	150	2
9	9	2	19/08/1999	1	150	2
10	10	1	-	1	150	1
10	10	2	26/08/1999	1	150	1
11	11	1	-	2	0	3
11	11	2	27/08/1999	2	0	3
12	12	1	-	2	0	1
12	12	2	29/08/1999	2	0	1
13	13	1	-	2	12,5	1
13	13	2	29/08/1999	2	12,5	1
14	14	1	-	2	0	1
14	14	2	26/08/1999	2	0	1
15	15	1	-	2	14	2
15	15	2	30/08/1999	2	14	2
16	16	1	-	2	0	3
16	16	2	03/09/1999	2	0	3
17	17	1	-	1	0	3
17	17	2	03/09/1999	1	0	3
18	18	1	-	1	0	3
18	18	2	08/09/1999	1	0	3

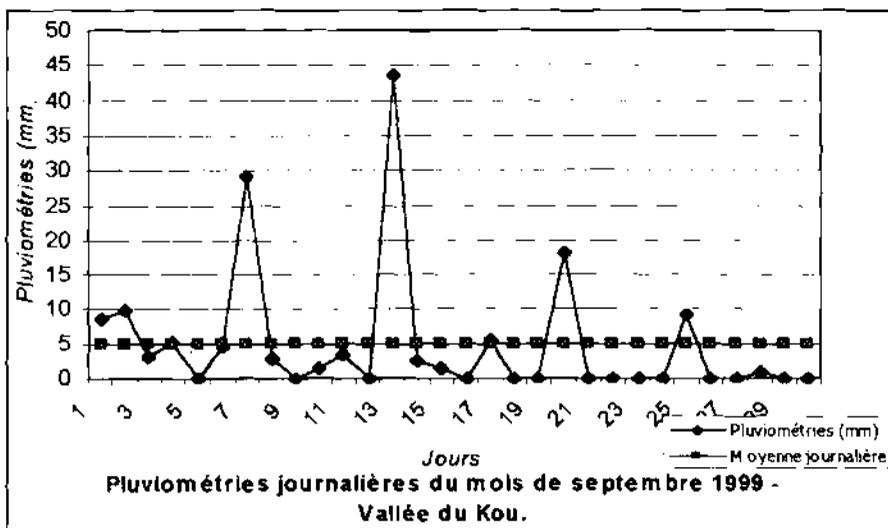
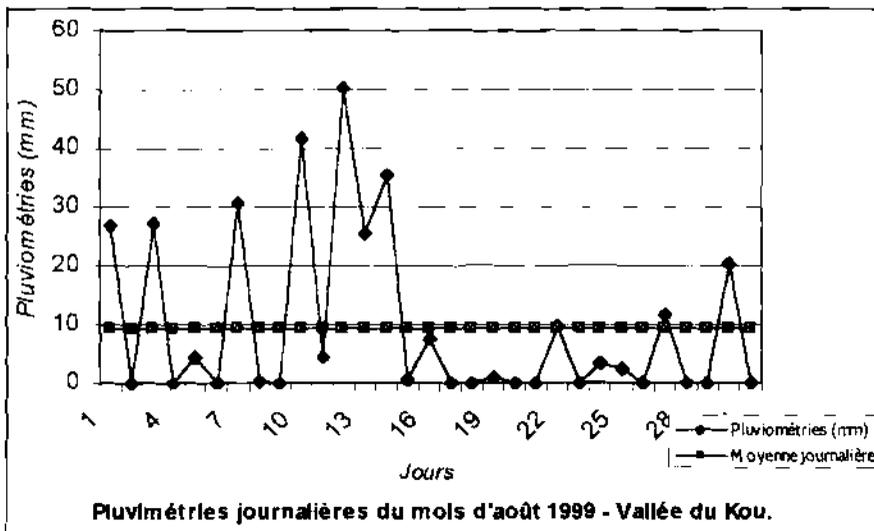
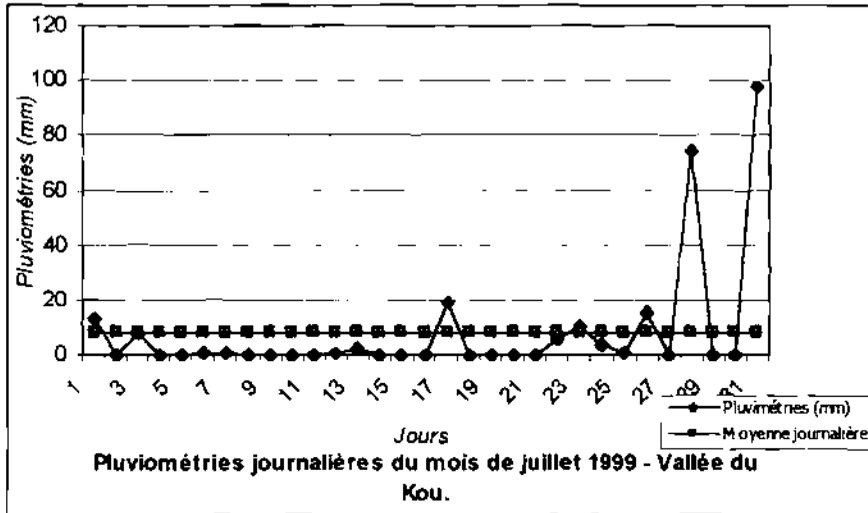
Légende: Traitement 1 = BP; traitement 2 = NPK.

Profondeur du sol: 1 = 20-40 cm; 2= 40-60 cm; 3= 60-80 cm.

Type de sol 1 = sol argilo-limoneux; type de sol 2 = sol sablo-argilo-limoneux.

Annexe 2 : Pluviométries journalières de la campagne humide 1999 de la vallée du Kou.

Source des données : INERA Farako-Bâ. Station météorologique de la vallée du Kou.



**Annexe 3 : Tableau général des données agronomiques paysannes
(campagne sèche 2000)**

Codes paysans	N° du lot	N° parcelle	Répétitions	Traitements	Rendements	Nombre Panic/m2	Nombre Talles/m2	Hauteurs Plants
1	391	5506	1	1	7914	452	464	98,12
1	391	5506	1	2	6315	463	597	95,97
2	467	48A07	2	1	8109	350	415	84,78
2	467	48A07	2	2	5629	415	429	80,72
3	546	4A108	3	1	5009	329	426	85,4
3	546	4A108	3	2	5829	375	467	89,45
4	613	6614	4	1	6308	358	430	89,74
4	613	6614	4	2	6203	427	451	99,27
5	456	51A05	5	1	5986	384	423	79,74
5	456	51A05	5	2	4998	383	423	73,62
6	432	4211	6	1	3983	324	446	89,74
6	432	4211	6	2	3908	408	457	93,78
7	218	1A302	7	1	6002	265	348	85,74
7	218	1A302	7	2	6215	230	360	90,44
8	436	4B203	8	1	3601	307	394	83,69
8	436	4B203	8	2	2942	334	435	83,03
9	50	2501	9	1	2659	150	433	78
9	50	2501	9	2	2517	266	491	87,93
10	497	4212	10	1	5439	422	425	98,18
10	497	4212	10	2	4278	282	367	79,06
11	321	2426	11	1	4489	356	377	86,97
11	321	2426	11	2	3689	303	415	86,56
12	299	1A711	12	1	3992	260	348	86,63
12	299	1A711	12	2	3722	265	336	88,81
13	333	1101	13	1	4714	335	367	87,62
13	333	1101	13	2	5101	253	310	81,83
14	302	18A01	14	1	5096	301	322	74,88
14	302	18A01	14	2	5143	302	407	88,74
15	201	1A204	15	1	6301	400	421	96,06
15	201	1A204	15	2	5537	369	458	102,22
16	832	6104	16	1	3799	270	313	82,21
16	832	6104	16	2	3430	274	411	87,87
17	114	3306	17	1	6542	248	441	83,97
17	114	3306	17	2	7262	264	371	85,77
18	808	6202	18	1	3678	302	385	98,17
18	808	6202	18	2	3991	337	407	101,13

Codes paysans	Repétitions	Traitements	Dates Semis	Dates Repiqu	AgePltsRepiq	Apport BP	1er Apport N
1	1	1	28-12-99	14-02-00	48	14-02-00	15-03-00
1	1	2	28-12-99	14-02-00	48	-	15-03-00
2	2	1	02-01-00	04-02-00	33	04-02-00	15-02-00
2	2	2	02-01-00	04-02-00	33	-	15-02-00
3	3	1	07-01-00	12-02-00	36	12-02-00	14-03-00
3	3	2	07-01-00	12-02-00	36	-	14-03-00
4	4	1	10-01-00	17-02-00	38	17-02-00	15-03-00
4	4	2	10-01-00	17-02-00	38	-	15-03-00
5	5	1	29-12-00	10-02-00	43	10-02-00	16-03-00
5	5	2	29-12-99	10-02-00	43	-	16-03-00
6	6	1	08-01-00	19-02-00	42	19-02-00	14-03-00
6	6	2	08-01-00	19-02-00	42	-	14-03-00
7	7	1	12-02-00	02-03-00	18	02-03-00	14-03-00
7	7	2	12-02-00	02-03-00	18	-	14-03-00
8	8	1	06-01-00	11-02-00	36	11-02-00	14-03-00
8	8	2	06-01-00	11-02-00	36	-	14-03-00
9	9	1	25-01-00	28-02-00	34	28-02-00	18-03-00
9	9	2	25-01-00	28-02-00	34	-	18-03-00
10	10	1	25-12-99	01-02-00	35	01-02-00	15-02-00
10	10	2	25-12-99	01-02-00	35	-	15-02-00
11	11	1	16-01-00	04-02-00	19	04-02-00	15-02-00
11	11	2	16-01-00	04-02-00	19	-	15-02-00
12	12	1	15-02-00	11-03-00	24	11-03-00	21-03-00
12	12	2	15-02-00	11-03-00	24	-	21-03-00
13	13	1	07-01-00	09-03-00	61	09-03-00	19-03-00
13	13	2	07-01-00	09-03-00	61	-	19-03-00
14	14	1	18-01-00	24-02-00	37	24-02-00	18-03-00
14	14	2	18-01-00	24-02-00	37	-	18-03-00
15	15	1	15-01-00	24-02-00	40	24-02-00	18-03-00
15	15	2	15-01-00	24-02-00	40	-	18-03-00
16	16	1	07-01-00	20-02-00	44	20-02-00	14-03-00
16	16	2	07-01-00	20-02-00	44	-	14-03-00
17	17	1	07-01-00	13-02-00	37	13-02-00	14-03-00
17	17	2	07-01-00	13-01-00	37	-	14-03-00
18	18	1	15-01-00	27-02-00	43	27-02-00	18-03-00
18	18	2	15-01-00	27-02-00	43	-	18-03-00

Codes paysans	Repétitions	Traitements	2 Apport N	Apport NPK	Types Sols	Apport Fumier	Pfdeurs Sols
1	1	1	12-04-00	-	2	0	3
1	1	2	12-04-00	15-03-00	2	0	3
2	2	1	04-04-00	-	1	0	2
2	2	2	04-04-00	15-02-00	1	0	2
3	3	1	10-04-00	-	1	0	3
3	3	2	10-04-00	14-03-00	1	0	3
4	4	1	17-04-00	-	1	0	3
4	4	2	17-04-00	15-03-00	1	0	3
5	5	1	09-04-00	-	2	0	3
5	5	2	09-04-00	16-03-00	2	0	3
6	6	1	19-04-00	-	1	0	3
6	6	2	19-04-00	14-03-00	1	0	3
7	7	1	02-05-00	-	1	0	2
7	7	2	02-05-00	14-03-00	1	0	2
8	8	1	10-04-00	-	2	0	2
8	8	2	10-04-00	14-03-00	2	0	2
9	9	1	29-04-00	-	1	150	2
9	9	2	29-04-00	18-03-00	1	150	2
10	10	1	31-03-00	-	1	150	1
10	10	2	31-03-00	15-02-00	1	150	1
11	11	1	04-04-00	-	2	0	3
11	11	2	04-04-00	15-02-00	2	0	3
12	12	1	11-05-00	-	2	0	1
12	12	2	11-05-00	21-03-00	2	0	1
13	13	1	09-05-00	-	2	12,5	1
13	13	2	09-05-00	19-03-00	2	12,5	1
14	14	1	24-04-00	-	2	0	1
14	14	2	24-04-00	18-03-00	2	0	1
15	15	1	24-04-00	-	2	14	2
15	15	2	24-04-00	18-03-00	2	14	2
16	16	1	20-04-00	-	2	0	3
16	16	2	20-04-00	14-03-00	2	0	3
17	17	1	13-04-00	-	1	250	3
17	17	2	13-04-00	14-03-00	1	250	3
18	18	1	27-04-00	-	1	0	3
18	18	2	27-04-00	18-03-00	1	0	3