



THESE

N° d'ordre :

présentée à la

Faculté des Sciences et Techniques

de

L'UNIVERSITE NATIONALE DE COTE D'IVOIRE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR INGENIEUR

Mention Sciences Agronomiques

par

LOMPO François

**CONTRIBUTION A LA VALORISATION DES
PHOSPHATES NATURELS DU BURKINA FASO :
ETUDES DES EFFETS DE L'INTERACTION
PHOSPHATES NATURELS-MATIERES ORGANIQUES**

Soutenue le 31 Juillet 1993
devant la Commission d'Examen

Président : ASSA Ayemou	Professeur à l'Université d'Abidjan
Rapporteur : SEDOGO P. Michel	Directeur Général de la Recherche Scientifique du Burkina
Examineurs : BATIONO André	Chercheur Principal à l'ICRISAT / NIAMEY
HOUENOU Pascal	Professeur à l'Université d'Abidjan
TRAORE Dossahoua	Maître de Conférences à l'Université d'Abidjan

SOMMAIRE

SIGLES ET ABREVIATIONS

RESUME

AVANT PROPOS

INTRODUCTION	1
Première Partie : CONTEXTE DE L'ETUDE - METHODOLOGIE . . .	4
CHAPITRE I. PROBLEMATIQUE GENERALE DE L'ETUDE	5
1.1. PROBLEMATIQUE DU PHOSPHORE AU BURKINA FASO . . .	5
1.2. PROBLEMATIQUE DE LA MATIERE ORGANIQUE AU BURKINA FASO	10
1.2.1. <u>La matière organique du sol</u>	10
1.2.2. <u>Les sources de matières organiques</u> . . .	12
CHAPITRE II. LE MILIEU D'ETUDE	21
2.1. GENERALITES SUR LE BURKINA FASO	21
2.2. LES SITES D'ETUDE	28
CHAPITRE III. MATERIELS ET METHODES D'ETUDE	33
3.1. MATERIELS D'ETUDE	33
3.1.1. <u>Les sols</u>	33
3.1.2. <u>Les engrais phosphatés</u>	33
3.1.3. <u>La Dolomie de Tiara</u>	42
3.1.4. <u>Le matériel végétal</u>	42
3.1.5. <u>Les substrats organiques</u>	43
3.1.6. <u>Le fumier</u>	43
3.1.7. <u>Les cendres</u>	44
3.1.8. <u>L'inoculum</u>	44

3.2. METHODES D'ETUDE	45
3.2.1. <u>Méthodes de production des composts</u>	45
a) <u>Le compostage aérobie</u>	45
b) <u>Le compostage anaérobie</u>	46
3.2.2. <u>Les expérimentations en milieux</u> <u>contrôlés</u>	47
a) <u>Les incubations</u>	47
b) <u>Les essais en vases de végétation</u>	51
3.2.3. <u>Les expérimentations au champ</u>	52
a) <u>Expérimentation sur les sources de</u> <u>phosphore</u>	52
b) <u>Etude de l'association des phosphates</u> <u>naturels et de la matière organique</u>	54
3.2.4. <u>Les analyses physiques et chimiques</u>	56
3.2.5. <u>Les analyses statistiques et économiques</u>	58
 Deuxième Partie : EXPERIMENTATIONS SUR LES PHOSPHATES NATURELS DE KODJARI	 60
 CHAPITRE IV. ETUDE DU COMPORTEMENT DES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVES VIS A VIS DES ENGRAIS PHOSPHATES	 61
 4.1. RESULTATS	61
4.1.1. <u>Evolution des rendements</u>	61
a) <u>Evolution des rendements sorgho de 1981</u> <u>à 1991</u>	62
b) <u>Evolution des rendements de 1988 à</u> <u>1991</u>	65

4.1.2.	<u>Evolution de la productivité du kg de phosphore engrais</u>	86
4.1.3.	<u>Bilans minéraux théoriques</u>	89
a)	<u>Bilan théorique du phosphore</u>	89
b)	<u>Bilan théorique du calcium</u>	94
4.1.4.	<u>Evolution des caractéristiques du sol</u>	98
a)	<u>Evolution de la matière organique du sol (carbone et azote total)</u>	98
b)	<u>Evolution du phosphore du sol</u>	101
c)	<u>Evolution des bases échangeables (Ca, Mg) et de la CEC</u>	102
d)	<u>Evolution du pH</u>	103
4.2.	<u>DISCUSSIONS - CONCLUSIONS</u>	104
CHAPITRE V.	<u>ETUDE DE L'AMELIORATION DE LA SOLUBILITE DES PHOSPHATES NATURELS DU BURKINA FASO : ACTION DE LA MATIERE ORGANIQUE</u>	111
5.1.	<u>ETUDES EN MILIEUX CONTROLES</u>	112
5.1.1.	<u>Résultats</u>	112
5.1.1.1.	<u>Effets des doses de phosphates naturels (PN) sur le compostage aérobie des pailles de sorgho</u>	112
•	<u>Les caractéristiques chimiques des composts aérobies</u>	113
•	<u>La valeur agronomique des composts aérobies</u>	115

5.1.1.2.	<u>Etude de la finition des composts anaérobies des pailles de sorgho en présence de phosphates naturels</u>	116
•	<u>Les caractéristiques chimiques des composts anaérobies</u>	116
•	<u>Valeur agronomique des composts anaérobies</u>	119
5.1.1.3.	<u>Effets des phosphates naturels sur le compostage aérobie de pailles de maïs en présence d'inoculum</u>	136
•	<u>Caractéristiques chimiques</u>	136
•	<u>Cinétique de minéralisation</u>	138
5.1.1.4.	<u>Effets combinés des phosphates naturels et d'oxydes d'azote sur les balles de riz</u>	146
•	<u>Les caractéristiques chimiques</u>	146
•	<u>La valeur agronomique des phosphates "Humifert"</u>	147
5.1.2.	<u>Discussions - conclusions</u>	156
5.2.	<u>ETUDE AU CHAMP DE L'ASSOCIATION PHOSPHATES NATURELS-MATIERE ORGANIQUE</u>	162
5.2.1.	<u>Résultats</u>	162
5.2.1.1.	<u>Evolution des rendements</u>	162
a)	<u>Evolution des rendements des traitements principaux</u>	162

b)	<u>Evolution des rendements suite à l'apport de dolomie</u>	167
c)	<u>Evolution de la productivité du kiloqramme de phosphore engrais</u>	170
5.2.1.2.	<u>Evolution des bilans minéraux</u>	176
a)	<u>Evolution du bilan du phosphore</u>	176
b)	<u>Evolution du bilan du calcium</u>	180
5.2.1.3.	<u>Evolution de quelques caractéristiques chimiques du sol</u>	185
a)	<u>Evolution du carbone et de l'azote total</u>	185
b)	<u>Evolution du phosphore</u>	187
c)	<u>Evolution des bases échangeables et de la CEC</u>	188
d)	<u>Evolution du pH</u>	189
5.2.2.	<u>Discussions - conclusions</u>	189
CHAPITRE VI.	INTERET ECONOMIQUE DE L'ASSOCIATION PHOSPHATES NATURELS ET MATIERE ORGANIQUE .	194
6.1.	LES DONNEES DE BASE	194
a)	<u>Les prix des engrais</u>	195
b)	<u>Les prix du sorgho</u>	195
c)	<u>La rémunération du travail</u>	197
d)	<u>Les rendements</u>	198
6.2.	RESULTATS-DISCUSSIONS	199
6.2.1.	<u>Bénéfices nets</u>	199
6.2.2.	<u>Taux marginal de rentabilité (TMR)</u>	201
CONCLUSION GENERALE		205
BIBLIOGRAPHIE		210
ANNEXES		226
LISTE DES TABLEAUX		240

A la mémoire de mon père **LOMPO Lamoudi Jean-Pierre**,
décédé le 28 Janvier 1991.

A ma mère, à mes frères et soeurs.

A mon épouse **Adjaratou** et à nos deux filles **Laure**
Sandrine et Reine Michaelle.

A la mémoire de **YOUGBARE Patricia** décédée le 22 Mars
1993.

SIGLES ET ABREVIATIONS

B.P.	:	Burkinaphosphate (phosphates naturels de Kodjari)
BPa	:	Fumure annuelle de Burkinaphosphate
BPC	:	Fumure de correction de Burkinaphosphate
BUMIGEB	:	Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina
C. ANAE	:	Compost anaérobie
CILSS	:	Comité Inter-Etat de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel
CIRAD-CA	:	Centre de Coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement-Cultures Annuelles
CNRST	:	Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique
CRU	:	Coefficient Réel d'Utilisation
CUA	:	Coefficient d'Utilisation apparent

ESFIMA : Programme de Recherche Eau-Sol-Fertilisation-Irrigation-Machinisme Agricole

FAST : Faculté des Sciences et Techniques

IBF : Integrated Biological Farming Company

IFDC : International Fertilizer Development Center

INERA : Institut d'Etudes et Recherches Agricoles

IRAT : Institut de Recherche Agronomique et des Cultures Vivrières (actuellement CIRAD-CA)

IRCT : Institut de Recherche sur le Coton et les Textiles (actuellement CIRAD-CA)

IRHO : Institut de Recherche sur les Huiles et Oléagineux (actuellement CIRAD-CA)

IVRAZ : Institut Voltaïque de Recherches Agronomique et Zootechnique (actuellement INERA)

OFNACER : Office National des Céréales

P.C : Pour cent

PIB : Produit intérieur brut

RSP : Programme de Recherches sur les Systèmes de Production

SOFITEX : Société des Fibres et Textiles

SOFRECO : Société Française de Réalisation, d'Etudes et de Conseil

TIMAC : Traitement Industriel du Maerle et Amendement calcique

TMC : Taux de Minéralisation Complémentaire

TSP : Phosphate supertriple

UV42 : Phosphates naturels de Kodjari solubilisés à 50 p.c. par H₂SO₄

Résumé

De nombreux travaux de recherches, réalisés sur les sols du Burkina, ont révélé leur carence quasi générale en phosphore et l'importance de la matière organique dans l'amélioration durable de leur potentiel de production. L'utilisation agricole des phosphates naturels provenant de l'important gisement de Kodjari, à travers leur association à la matière organique, au champ ou au cours du compostage, est abordée dans cette étude. Les dispositifs en milieux contrôlés (incubation, vases de végétation) et en milieu réel (expérimentation au champ) ont permis d'établir l'intérêt de cette association. Ainsi, la qualité des matières organiques et l'efficacité des phosphates naturels sont-elles améliorées. Les rendements des cultures et certaines caractéristiques du sol (pH, C, P, CEC et bases échangeables) ont connu une évolution favorable. L'association phosphates naturels - matières organiques, constitue donc une alternative prometteuse pour accroître de façon durable la productivité des sols au Burkina Faso. Ce thème technique devrait faire l'objet d'une attention particulière et soutenue de la part des structures de développement agricole.

Mots clés : phosphates naturels de Kodjari, matières organiques, sols ferrugineux lessivés, dolomie de Tiara, sorgho.

Abstract : Contribution to the valorisation of rock phosphate from Burkina Faso : Study of the effects of interactions between rock phosphate and organic matters.

Numerous studies have demonstrated that phosphorus deficiency is widespread among the soils of Burkina Faso, and that organic matter is important for their sustainable productivity. The agricultural use of rock phosphate from the

extensive Kodjari (Burkina Faso) deposits, when associated with organic materials in the field or the compost pit, is the subject of this study. Lab, pot and field studies demonstrated the possibility of improving the agricultural value of the organic materials and the rock phosphate by combining them. Crop yields and certain soil properties (pH, C, P, CEC, and exchangeable bases) are also improved. The association of rock phosphate with organic materials, therefore, is a promising alternative for sustainable growth of soil productivity in Burkina Faso. This subject ought to receive particular attention and investment by agricultural development entities.

Key-words : Kodjari, rock phosphate, organic materials, dolomite, sorghum.

AVANT PROPOS

La première page de cette thèse est pour moi l'occasion de remercier très sincèrement tous ceux qui ont contribué à sa réalisation.

C'est là le fruit de neuf années de recherche dans un esprit d'équipe, qui a commencé sur la Station de Recherches Agricoles de Saria en 1983 sous la Direction de Mr SEDOGO P. Michel, Directeur Général du Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST) du Burkina Faso. Sa modestie, son sens élevé des relations humaines et surtout ses multiples conseils m'ont permis de "m'accrocher" au métier de chercheur. C'est lui qui, très tôt, m'a fait prendre conscience de la valorisation agricole de certaines ressources locales. J'espère ne pas le decevoir avec ce mémoire.

Le Professeur ASSA Ayemou, Chef du Département Sciences de la Terre, de la Faculté des Sciences et Techniques (FAST) de l'Université Nationale de Côte d'Ivoire, après avoir accepté spontanément en 1988 mon inscription en DEA dans son laboratoire, m'a vivement encouragé et soutenu pour la poursuite de mes recherches. Malgré ses multiples responsabilités académiques, il a suivi mes travaux au Burkina Faso dans des conditions souvent pénibles. Je lui exprime ici ma profonde gratitude.

Je remercie Mr BATIONO André de l'IFDC pour l'honneur qu'il me fait en participant au Jury. Nous avons eu à collaborer au sein du réseau de recherche sur la gestion des engrais en Afrique et j'ai pu à cette occasion apprécier ses qualités humaines et scientifiques.

Que Messieurs les professeurs HOUENOU Pascal et TRAORE Dossahoua de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université d'Abidjan qui me font l'honneur de participer au jury, trouvent ici l'expression de mes sincères remerciements.

Monsieur BELEM P. Célestin, Directeur de l'Institut d'Etudes et de Recherches Agricoles (INERA), à travers la mise en oeuvre du plan de formation des chercheurs de son institut, s'est attelé au renforcement des capacités scientifiques de l'INERA. Il a toujours su m'accorder les facilités administratives, financières et matérielles pour la réalisation de ce travail, je lui en suis reconnaissant.

Monsieur HIEN Victor qui a bien voulu corriger le manuscrit et OUATTARA Badiori, ont accepté de partager mes responsabilités de chef de programme ESFIMA pour me permettre d'accomplir mes recherches. Leur contact facile et leurs multiples conseils m'ont été très profitables. Qu'ils en soient remerciés.

Messieurs SEREME Paco et THIOMBIANO Lamourdia ont bien voulu lire le manuscrit et le corriger ; qu'ils soient remerciés.

Mes collègues du programme ESFIMA et des Stations de Recherches de Kamboinsé et Saria : BONZI Moussa, DAKOUO Déhou, ZOUNDI Jean, YOUL Sansan, DABIRE Clémentine, ZANGRE Roger, Asimi Salawu, KAMBOU N. Frédéric, SOME Léopold, NICOU R., SON Gouyahali, BILOGO Ablassé, KABORE Benoit m'ont été d'un soutien inestimable.

Je n'oublie pas Madame SEDOGO Marie Cécile, TAMBOURA Hamidou, SOMDA Marcel, OUEDRAOGO Souleymane et OUEDRAOGO Moussa pour les moments passés ensemble à Abidjan pour la préparation du DEA.

La partie analyse économique de ce mémoire a nécessité la collaboration de chercheurs des programmes de recherche sur les systèmes de production (RSP) et sur les productions animales. Qu'ils en soient remercié.

Je remercie les techniciens de laboratoire et d'expérimentation de Saria et de Kamboinsé, en particulier SAWADOGO Jean Claude, KONSEIBO Mathias, SANON Martin, KABORE Mady, RAMDE Martin, OUEDRAOGO Sibiri, BANDOAGO Adama pour leur collaboration.

Que tous mes collaborateurs au sein du programme que je n'ai pu nommer ici, sachent qu'ils ont une place dans ce mémoire et dans ma mémoire.

Je remercie enfin Mme SAWADOGO Elisabeth pour la mise en forme de ce document.

INTRODUCTION

L'autosuffisance alimentaire, reste un objectif prioritaire au Burkina Faso, bien que 85 p.c. de la population active se consacrent au secteur agricole. Un bilan céréalier national établi par le CILSS pour la période de 1979-1991 montre un bilan global positif, uniquement 2 années sur 12, avec cependant une différenciation au niveau régional.

Ce secteur agricole qui contribue pour 25 p.c. du produit intérieur brut (PIB) et pour 80 p.c. des exportations totales du pays, connaît des difficultés, singulièrement dans le domaine de la production céréalière.

Pour NAGY et al. (1988), les contraintes majeures de la production agricole en zone tropicale semi-aride de l'Afrique de l'Ouest sont :

- la faible fertilité des sols ;
- les problèmes d'érosion et de ruissellement ;
- le niveau et la distribution variables de la pluviométrie;
- l'insuffisance de la main d'oeuvre aux périodes de pointe du calendrier cultural ;
- la faiblesse de la fourniture d'intrants surtout pour les cultures céréalières, liée à l'inexistence d'une politique de filière dans le domaine du vivrier ;
- et enfin, l'inadéquation des services d'information et de vulgarisation.

Dans un tel contexte, prétendre résoudre le problème de sécurité alimentaire nécessite une approche intégrée. D'un point de vue technique, la réalisation de l'autosuffisance alimentaire au Burkina Faso, dans l'optique d'une gestion rationnelle des ressources naturelles, passe par :

- l'intensification des systèmes de production (gestion de la fertilité et conservation des eaux et des sols ; utilisation de variétés locales ou améliorées adaptées etc.) ;

- la meilleure valorisation et/ou l'utilisation des périmètres irrigués et des bas-fonds. A ce propos selon le CILSS (1987), sur 160.000 ha de terres irrigables, seulement 10 p.c. sont aménagés.

- la mise en culture de terres "nouvelles". Une étude réalisée par Reij (1983) montre un taux d'occupation des terres de l'ordre de 30 p.c. pour l'ensemble du Burkina. Ce taux est variable : il est élevé dans le Yatenga (77 p.c.), le Centre Est (71 p.c.) et plus faible dans la Comoé (12 p.c.) les Hauts Bassins (14 p.c.) et l'Est (16 p.c.).

L'analyse de la variation de la pression démographique (PRUDENCIO, 1986) montre une densité plus élevée sur le Plateau Central, traduisant ainsi une saturation foncière. Cette situation explique en partie le faible niveau de fertilité des sols dans cette zone où la pratique de la jachère n'est plus possible.

Dans une telle situation, seule une intensification des systèmes de production peut permettre d'obtenir une production soutenue dans le cadre d'une agriculture durable.

Le présent travail se situe dans le contexte du Plateau Central où la conservation des eaux et des sols, la correction de la carence quasi-générale des sols en phosphore et la gestion de la matière organique sont des facteurs incontournables pour le maintien, voire l'amélioration du niveau de productivité des terres. Depuis plus de trente ans, des efforts de recherche ont été consentis en vue d'une part, de valoriser les phosphates d'Afrique de l'Ouest (Sénégal, Mali, Niger, Togo, Burkina Faso) et d'autre part de palier à la baisse du taux de matière organique des sols à travers la gestion des résidus culturaux. La recherche d'une technologie permettant de résoudre à la fois cette carence des sols en phosphore (en améliorant la solubilité des phosphates naturels) et leur pauvreté en matière organique (en proposant des sources de matière organique de qualité) constitue l'objectif principal de notre travail qui comprend six chapitres :

- les trois premiers situent le contexte de l'étude à travers, successivement sa problématique générale, le milieu et la méthodologie utilisée ;

- le quatrième chapitre traite du comportement de sols ferrugineux tropicaux lessivés par rapport à différents types d'engrais phosphatés ;

- le cinquième chapitre est consacré aux études d'amélioration de la solubilisation des phosphates naturels de KODJARI à travers des expérimentations en milieux contrôlés et au champ ;

- enfin le sixième chapitre, aborde l'aspect économique de l'association phosphates naturels et matière organique à travers une analyse économique des résultats de l'expérimentation au champ.

Première Partie :

CONTEXTE DE L'ETUDE -

METHODOLOGIE

CHAPITRE I. PROBLEMATIQUE GENERALE DE L'ETUDE

CHAPITRE II. LE MILIEU D'ETUDE

CHAPITRE III. MATERIELS ET METHODES D'ETUDES

CHAPITRE I. PROBLEMATIQUE GENERALE DE L'ETUDE

1.1. PROBLEMATIQUE DU PHOSPHORE AU BURKINA FASO

Les sols tropicaux manifestent une carence quasi générale en phosphore (TRUONG et al., 1973 ; DABIN, 1974 ; BOYER, 1981), dont les origines sont à rechercher d'une part, dans la nature du substratum géologique et son évolution au cours de la formation du sol et d'autre part, dans la faible teneur en matière organique et l'épuisement rapide de ces sols, après leur mise en culture (SEDOGO, 1981).

Selon WALKER et SYERS cités par BOYER (1981) les sols qui résultent d'une longue pédogenèse, comme c'est le cas des sols tropicaux, se caractérisent, du point de vue phosphore, par une prédominance des formes liées à l'aluminium (P-Al) et au fer (P-Fe) non facilement accessibles aux plantes. De même dans les conditions climatiques tropicales caractérisées par des températures élevées et une alternance humectation-dessiccation, la minéralisation de la matière organique est rapide. Il en découle un appauvrissement du sol et par la suite une rétrogradation du phosphore apporté par les engrais (DOGUI, 1986).

Divers travaux ont été conduits au Burkina Faso sur le phosphore.

Ainsi DUMONT et DUPONT DE DINECHIN (1967), POULAIN et ARRIVETS (1971), à travers des expérimentations multilocales concernant l'application d'engrais minéraux sur les cultures vivrières ont montré que la carence en phosphore est le premier facteur limitant dans la plupart des sols du Burkina. Cette carence se confond avec la densité de la population et le système de culture pratiqué. Ces auteurs indiquent que dans les régions

à forte pression foncière et dont les sols sont épuisés, une fumure de redressement de 50 kg P₂O₅/ha sous forme de supertriple est économiquement viable pour des exploitations à faibles revenus. Dans les zones peu peuplées et peu exploitées, la carence est moyenne et une fumure apportant 25 kg P₂O₅/ha/an est suffisante.

Des études sur les phosphates naturels de TAIBA (Sénégal) et du Togo ont été menées en vue de les substituer aux engrais phosphatés plus solubles, mais relativement plus chers. Ainsi en était-on arrivé à proposer les phosphates du Togo pour la correction de la carence en phosphore des sols du Burkina.

Sur cotonnier, l'IRCT, à travers les essais soustractifs a mis en évidence des déficiences primaires généralisées en azote et en phosphore et l'effet du phosphore sur la longueur des fibres. Les études des besoins en cet élément et des formes d'apport des engrais phosphatés ont abouti à des formules de fumures apportant 35 à 40 kg P₂O₅/ha suivant le système de culture.

Sur arachide, les travaux de l'IRHO ont montré qu'un apport de 75 kg/ha/an de supersimple (soit 15 à 16 kg P₂O₅/ha) permettait d'obtenir des rendements intéressants.

La découverte des phosphates naturels dans l'est du pays et les crises énergétiques et alimentaires ont conduit à l'orientation des recherches en matière d'engrais sur la valorisation agricole des ressources locales, en particulier sur la substitution totale ou partielle des sources de phosphore importées par les phosphates naturels, ceci en collaboration avec des partenaires scientifiques comme IRAT/TIMAC et IFDC. Ainsi ces phosphates ont été caractérisés du point de vue minéralogique, cristallographique, composition chimique, solubilité etc. (TRUONG et al., 1978 ; SEDOGO et al., 1983 ; BATIONO et al., 1987 ; Paul, 1988 ; TRUONG, 1989).

Les études agronomiques sur ces phosphates ont concerné leur utilisation, soit directement, soit après acidification partielle.

L'utilisation directe des phosphates bruts a fait l'objet d'une synthèse en 1983 (projet Phosphate et IVRAZ/IRAT, 1983) qui a abouti à des recommandations à la vulgarisation qu'on peut résumer comme suit :

- apport de 400 kg/ha de phosphates naturels en première année pour toute culture, suivi d'une fumure annuelle d'entretien dont la dose est liée au type de spéculatation. Ainsi, elle est de 200 kg/ha pour le sorgho et le mil, 250 kg pour l'arachide et 300 kg pour le maïs. Ces apports de phosphates naturels sont à compléter avec une fumure azotée à raison de 50 kg/ha/an d'urée pour le sorgho et le mil et 100 kg/ha/an pour le maïs.

Cette synthèse note le rôle important non seulement de la pluviométrie, mais aussi des techniques culturales (labour, matières organiques) sur l'efficacité des phosphates naturels.

- Plus récemment HIEN et al. (1992) à travers des expérimentations multilocales dans le cadre du Projet Engrais Vivriers ont tenté de définir des formules de fumure économiquement rentables pour les cultures céréalières (sorgho, mil, maïs et riz) en fonction des différentes zones agroécologiques du pays et en utilisant les ressources locales (phosphates naturels et matières organiques) à partir des résultats rapportés plus haut.

Il ressort de cette étude que :

- sur riz irrigué, l'acidification partielle des phosphates naturels du Burkina n'est pas nécessaire. Ces phosphates peuvent être utilisés à l'état brut à la dose de 500 kg/ha la première année (fumure de fond) suivie d'une fumure annuelle d'entretien de 200 kg/ha. En riziculture pluviale, dans les conditions de sol ferrallitique acide, une fumure de fond de 600 kg/ha suivie d'une fumure annuelle d'entretien de 300 kg/ha est recommandée.

Cette efficacité du Burkina phosphate sur le riz semble être en rapport d'une part, avec l'acidité des sols considérés et d'autre part la densité racinaire du riz dont les exsudats pourraient provoquer une intense activité biologique qui contribuerait à la solubilisation de ces phosphates bruts.

- Dans les régions à pluviométrie élevée (sud et sud-ouest du pays) les phosphates naturels bruts et finement broyés permettent d'obtenir des rendements de maïs intéressants surtout en présence de matières organiques. Cette association présente en outre l'avantage de réduire l'apport de potassium et de mieux valoriser l'azote-engrais. Ces résultats sont également valables sur riz et mil.

- L'acidification partielle est une solution à la faible réactivité des phosphates naturels du Burkina. Les produits obtenus se montrent aussi efficaces sur les cultures (à l'exception du mil dans les zones à faible pluviométrie) que les engrais solubles importés, le NPK notamment. Les produits des attaques partielles contenant dans leur formule l'azote et le soufre semblent mieux indiqués pour les céréales et les légumineuses.

L'acidification partielle permet en outre d'obtenir des produits granulés et donc de résoudre le problème de présentation et d'épandage du produit brut.

- Les contraintes à la vulgarisation et les aspects économiques ont également faits l'objet d'études MORANT, 1985 ; OUEDRAOGO, 1984 ; HIEN et al., 1992). La faible adoption du produit par les paysans s'explique selon ces auteurs par :

- le mauvais conditionnement du produit ;
- les difficultés de transport ;
- les temps et les difficultés d'épandage ;
- les faibles effets immédiats des phosphates.

La non disponibilité, l'insuffisance de la vulgarisation, l'insuffisance des infrastructures routières, les impasses dans l'approvisionnement, le système de crédit agricole sont autant de facteurs qui limitent d'une façon générale la diffusion des engrais.

Concernant l'analyse économique, MORANT (1985) à partir d'expérimentations en station a montré l'intérêt du Burkinaphosphate dans un système en culture attelée et avec disponibilité de matières organiques dans une situation de non subvention des engrais importés. Cette conclusion est confirmée par HIEN et al. (1992) qui trouvent que les formules de fumure à base de phosphates naturels bruts ou améliorés présentent un certain risque, comparativement à l'engrais coton, dans le cas où un choix entre ces types d'engrais est possible. Ainsi, si la disponibilité de l'engrais importé vient à être limitée par

manque de devises pour l'acheter, les phosphates partiellement acidifiés seraient utilisés, préférentiellement aux phosphates bruts.

1.2. PROBLEMATIQUE DE LA MATIERE ORGANIQUE AU BURKINA FASO

Des travaux de recherche approfondis, consacrés à la matière organique d'une façon générale ont été conduits au Burkina Faso. Ils ont concerné d'une part, la matière organique du sol (SOURABIE, 1979 ; SEDOGO, 1981 ; PALLO, 1982 ; SEDOGO et al., 1988 ; SEDOGO et al., 1989 a et b ; HIEN 1990 ; NANEMA, 1990 ; OUATTARA, 1990 ; SEDOGO, 1993) et d'autre part les sources de matière organique (SEDOGO, 1981 ; LOMPO, 1983 et 1989 ; BAZIE, 1984 ; BADO, 1985 ; BERGER et al., 1987 ; BONZI, 1989 ; SEDOGO et al., 1989 c ; N'GAMINE, 1990 ; SEGDA, 1991 ; BILOGO, 1992 ; SEDOGO et al., 1992).

1.2.1. La matière organique du sol

La pratique de la jachère, méthode traditionnelle jadis utilisée pour la régénération des principales propriétés du sol, a disparu progressivement pour laisser s'installer une agriculture plus ou moins sédentaire mais extensive, et donc une agriculture minière. Les dispositifs pérennes de suivi de la fertilité des sols sous différents modes de gestion ont été installés en zone céréalière et en zone cotonnière afin de déterminer les moyens de "produire plus et de façon durable" (SEDOGO, 1993).

- En zone céréalière, trente années de recherche (SEDOGO, 1993) ont permis de conclure que la nature et les quantités de matière organique présentes dans le sol conditionnent la productivité dans les sols ferrugineux tropicaux du Plateau Central du Burkina. Cette matière organique évolue rapidement dès la mise en culture des sols.

Cette mise en culture affecte d'une part principalement la fraction organique grossière ($> 50 \mu\text{m}$) et d'autre part la nature des composés organiques. Les apports de matières organiques ont un effet positif sur cette fraction qui est le siège des processus de minéralisation à condition que les quantités apportées soient conséquentes (au moins 5t/ha/2 ans) pour compenser la minéralisation de la matière organique du sol déjà faible ($< 1\text{p.c.}$).

Les composés organiques du sol les plus affectés par la mise en culture sont les polysaccharides. D'autres composés tels les produits transitoires de l'humification (acides fulviques) qui jouent un rôle dans la complexation de cations dont l'aluminium sont affectés dans les conditions de culture sans apports organiques.

Les effets d'apports organiques sont fonction des quantités apportées et de la nature de ces substrats organiques. Ainsi, le mulch ou l'enfouissement des pailles augmente les rendements et le carbone organique du sol sans empêcher l'acidification des sols, cela par rapport à une gestion avec exportation des pailles. L'enfouissement des pailles permet en outre d'améliorer la productivité du kg d'azote ; cependant cet enfouissement provoque une immobilisation plus importante de l'azote engrais.

La transformation des pailles en composts permet d'améliorer l'efficacité de ces pailles tant sur le plan de l'augmentation des rendements que sur ses effets sur le sol (carbone, azote, CEC et CRU des engrais azotés).

D'une manière générale, les fumures exclusivement minérales, entraînent une baisse du stock de matières organiques alors que les fumures organo-minérales à faible dose maintiennent le taux de carbone du sol. Les fortes doses par contre augmentent ce taux.

- En zone cotonnière, HIEN (1990) a constaté une baisse de 60 p.c. du carbone du sol sur une période de 15 ans (soit 4 p.c./an) sur une rotation triennale coton/sorgho/arachide en traction animale. La CEC, le pH, et les teneurs en aluminium échangeables sont autant de caractéristiques du sol dont l'évolution au cours de la même période a atteint des valeurs qui limitent l'efficacité des engrais. Une étude de doses de fumier montre que les doses moyennes (7,3t/ha) et forte (12,8t/ha) en apport unique pour 4 ans limitent les baisses de carbone et atténuent l'acidification du sol et l'augmentation des teneurs en aluminium échangeable. Aussi ces doses augmentent les teneurs en azote total hydrolysable du sol, notamment la fraction non distillable d'origine microbienne.

1.2.2. Les sources de matières organiques

L'importance de la matière organique dans l'amélioration de la fertilité des sols pose cependant des problèmes au niveau des exploitations. Il s'agit de la disponibilité des matières organiques et de la faisabilité des restitutions organiques dans les conditions agro-socio-économiques actuelles des paysans.

Les recherches ont été surtout orientées vers la gestion des résidus culturaux et ont concerné, soit leur utilisation directe, soit leur transformation par compostage en conditions aérobie ou anaérobie.

a) Utilisation directe des pailles

- Le brûlis des pailles

Dans une synthèse, après douze années d'expérimentation sur la gestion des résidus de récolte, SEDOGO (1993) a mis en évidence les effets faibles, sinon négatifs du brûlis des tiges de sorgho sur la production du sorgho et du cotonnier, surtout lorsque cette technique est suivie de labour. Le brûlis a un

faible effet sur la matière organique du sol, mais par contre améliore la teneur du sol en bases échangeables, aussi bien en culture manuelle que lorsque le labour est pratiqué. Ainsi donc, cette technique de gestion des résidus de récolte, ne peut être conseillée dans le cadre d'une intensification de l'agriculture au Burkina Faso.

- Le mulch ou paillage

Cette technique a surtout été testée dans le nord du pays dans le cadre de la gestion de l'eau, de la matière organique et de la conservation du sol. Ses effets sur la température du sol et sur les adventices ont également été étudiés. Sur sol ferrugineux tropical lessivé du Plateau Central, le mulch permet d'augmenter les rendements et d'améliorer les caractéristiques chimiques du sol (C, N, pH, CEC, Bases échangeables...).

La contrainte principale à sa diffusion en milieu paysan est la disponibilité des pailles en quantité suffisante pour être efficace.

- L'enfouissement des pailles

Cet enfouissement des pailles (en début ou en fin de cycle) bien que permettant d'améliorer les rendements et certaines caractéristiques physico-chimiques des sols pose des difficultés. Selon PICHOT et al. (1981) et SEDOGO (1981 et 1993) cette technique peut :

- * entraîner la production d'acides phénoliques toxiques pour les plantes ;
- * conduire à une "faim d'azote" pour les plantes si un complément azoté n'est pas apporté au sol.

L'enfouissement nécessite un minimum d'équipement, pas toujours à la disposition des paysans. En outre, la réalisation de cette technique en début de cycle, nécessite des pluies précoces, et en fin de cycle, des pluies tardives.

b) Le compostage des résidus culturaux

Les travaux sur le compostage ont porté sur la mise au point des techniques de production et sur l'amélioration de la qualité des composts.

▪ Les techniques de compostage

Trois techniques ont été mises au point ou adaptées à nos conditions. Il s'agit :

- du compostage aérobique qui a été adapté à partir de la méthode mise au point au Sénégal par GANRY et GUEYE (1978), et qui consiste à mettre en fosse et par couches successives des pailles tronçonnées (30 cm) et du fumier (ou poudrette). Des arrosages et brassages sont nécessaires. Une variante de cette technique consiste au compostage de litière obtenue à partir de la stabulation nocturne des animaux de trait sur un apport d'environ 20 kg de paille de sorgho ou de mil par bovin et pour deux nuits.

Cette technique permet d'avoir un compost mûr au bout de trois à cinq mois.

D'autres méthodes de compostage aérobique, comme le compostage en tas sont utilisées pour le compostage du riz, dans les plaines rizicoles.

- du compostage anaérobie ou filière biogaz-compost, permet d'obtenir au bout de deux mois, du biogaz (dont 1 m³ équivaut à 0,8l d'essence et à 1,5 kg de bois) et un compost résiduel appelé "compost anaérobie". Cette technique présente les contraintes suivantes : disponibilité de paille et de bouse de vache, coût élevé des installations, exigence en eau et en main d'oeuvre, nécessité d'une finition complémentaire du compost obtenu.

- la technique des parcs d'hivernage mise au point dans l'ouest du pays (BERGER et al., 1987 ; BERGER, 1990) qui consiste à faire broyer et enrichir par les bovins les tiges de sorgho dans un parc à proximité des champs. Les processus de compostage s'opèrent sous l'effet des pluies. Avec 4T de tiges de sorgho ou de mil enrichies par les fèces des bovins, on obtient 6 tonnes de compost au bout de 18 mois. Ces 6T de compost, d'un coefficient isohumique d'environ 30 p.c., sont équivalentes aux quantités d'humus que le sol perd par minéralisation au bout de 3 ans (2 p.c.)/an avec une teneur moyenne de 1 p.c. de M.O.). Ces quantités sont apportées une année sur trois. Cette technique nécessite donc que le tiers de l'exploitation concernée par cet entretien organique, soit en sorgho ou en mil pouvant produire 4T de tiges à l'hectare. Aussi, l'exploitation doit disposer de 1,6 têtes de bovins par hectare de tiges à broyer, ou alors établir un contrat de parcage avec un troupeau extérieur.

▪ L'amélioration de la qualité des composts

Cette amélioration a été envisagée à travers :

- l'adjonction de produits locaux tels les phosphates naturels, les cendres et la dolomie. Ainsi, l'apport de phosphates naturels en début de compostage permet d'accélérer la décomposition des substrats compostés et d'augmenter les

quantités de phosphore soluble à l'eau (LOMPO, 1983 et 1989 ; BADO, 1985 ; BONZI, 1989 ; SEDOGO et al., 1989 c). Les études menées sur les composts améliorés avec les cendres et la dolomie indiquent un effet favorable sur la biodégradation et la qualité de ces composts.

- L'utilisation d'un inoculum qui a permis de réduire la durée du compostage de paille de riz de 50 p.c., ce qui se traduit par une réduction notable de la quantité d'eau et des temps de travaux (NGAMINE, 1990 ; HIEN et al., 1992). Les mêmes travaux indiquent que l'adjonction des phosphates naturels en présence d'inoculum, devrait être décalée dans le temps et se faire à doses moyennes.

- Le fumier présente des caractéristiques chimiques (Ca, Mg, K, N, C) et biochimiques très intéressantes pour le sol (ce qui en fait une source de référence pour les différentes expérimentations sur la matière organique). Cependant, sa production pose des problèmes de disponibilité du bétail (intégration dans les systèmes de production), de sa collecte et de son transport. Sa faible teneur en phosphore (reflet de la déficience des sols du pays en cet élément) est également un problème, du reste mineur.

c) Autres sources de matières organiques

Les recherches préliminaires sur des sources potentielles de matières organiques ont surtout porté sur les sous-produits agro-industriels (sciure de bois, tourteaux de coton, bagasse, coque d'arachide etc.) et les déchets des grands centres urbains. Bilogo (1992) a montré que les caractéristiques chimiques de ces substrats sont très variables. Ainsi, les sous-produits agro-industriels sont plus riches en carbone avec des teneurs plus ou moins élevées en N, P et K ; les déchets urbains sont pauvres en N K et surtout en P.

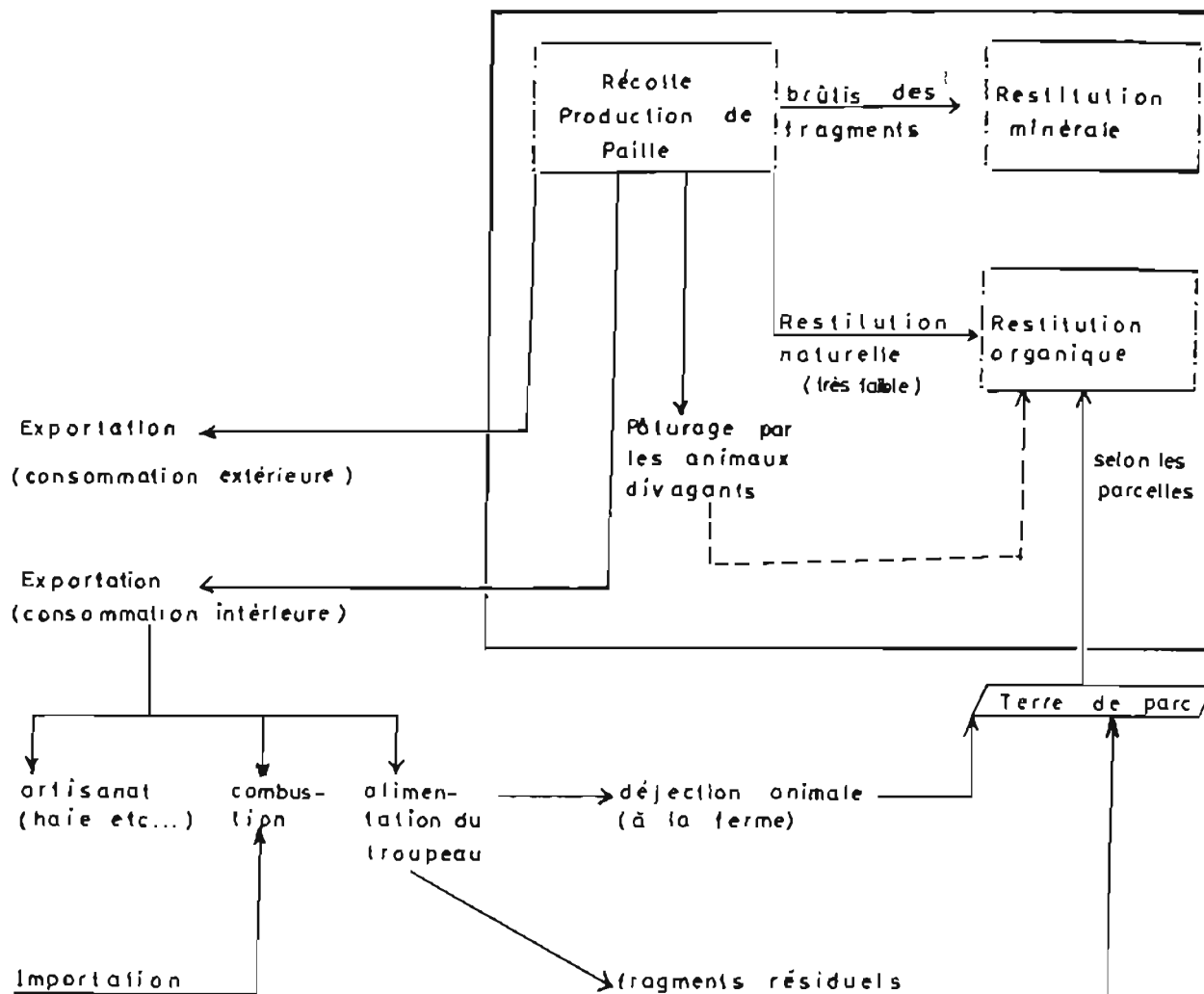
- La disponibilité des matières organiques

Si pour des cultures telles que le riz, les pailles sont disponibles et sont le plus souvent brûlées sur les parcelles, le problème demeure pour les pailles de céréales surtout sur le Plateau Central du pays. LOMPO (1983) a résumé le schéma de consommation des résidus (schéma 1) comme suit :

- combustion : 90 p.c des résidus récoltés
- confection d'enclos et palissade, alimentation des animaux : 7 à 9 p.c.

Une étude plus récente (SEGDA, 1991) a permis de comparer les productions potentielles et les disponibilités réelles en résidus de récolte et en déjections animales dans les cinq CRPA (Centres Régionaux de Promotion Agro-Pastorale) du Plateau Central. Il en ressort que les productions potentielles théoriques en pailles et fécès sont estimées respectivement à 2.588.000 et 5.691.000 tonnes par an, pour des besoins estimés à 3.900.000 t/ha (en partant de l'hypothèse d'un apport de 5t/ha/2 ans). Les résidus de récolte sont donc disponibles et devraient couvrir largement les besoins si, comme le souligne BERGER (1990), "une certaine réorganisation de l'exploitation (en particulier pour ce qui concerne la gestion du bétail) est entreprise".

Dans le Nord du Burkina Faso où les systèmes de production sont caractérisés par la coexistence d'un élevage semi-nomade et une agriculture très extensive, QUILFEN et MILLEVILLE (1983) ont, d'une part évalué la disponibilité de résidus culturaux de mil



Schema n° 1 : SYSTEME DE CULTURE ET DE CONSOMMATION DES RESIDUS

Source : LOMPO (1983)

en terme de disponibilité fourragère, et d'autre part quantifié les apports organiques à partir de la fumure animale des animaux en stabulation. Ils ont conclu en soulignant la complémentarité des deux activités dans la dite zone.

L'estimation des sous produits agro-industriels et des déchets urbains révèle une production de 375 713 tonnes pour l'année 1990.

Cette brève revue bibliographique a permis de situer l'importance de la fertilisation phosphatée et de la matière organique d'une part dans la définition des formules de fumure pour les différentes cultures et d'autre part dans l'amélioration de la fertilité des sols.

C'est dans cette logique que se situent les recherches entreprises depuis une dizaine d'années sur l'association phosphates naturels et matières organiques. L'hypothèse de base postule que cette association au cours de la production des composts ou dans le sol, permettrait d'une part de libérer plus de phosphore et d'autre part d'améliorer le statut organique du sol et par conséquent, les conditions d'alimentation hydrique et minérale des plantes. Différents mécanismes d'action décrits par de nombreux auteurs dont FROSSARD (1985) ; SAMAKE (1987) et GARAPIN (1989) sont impliqués. Il s'agit principalement de :

- l'action des acides organiques produits au cours du compostage ou de minéralisation de la matière organique du sol;
- la compétition entre composés organiques et anions phosphoriques sur des sites de fixation de la phase solide des sols ;

- la formation d'humophosphates (Mo-ions métalliques- PO_4^{3-})

- l'action de nombreux sacharides en rapport avec l'activité de la flore microbienne des exudats racinaires ;

- l'action des matières humiques (acides humiques et fulviques) à travers leurs groupements fonctionnels (carboxyles et hydroxyles).

CHAPITRE II. LE MILIEU D'ETUDE

2.1. GENERALITES SUR LE BURKINA FASO

Le Burkina Faso est situé en plein coeur de la région semi-aride de l'Afrique de l'Ouest. Cette région est caractérisée par une pluviométrie qui varie entre 500 et 1200 mm répartie en une seule saison de pluie courte (3 à 5 mois). C'est donc une zone où la sécheresse et la répartition des pluies dans le temps et dans l'espace sont des contraintes pour la production végétale et animale.

Selon GUINKO (1984) cinq zones climatiques sont observées au Burkina Faso (carte 1) :

- le climat sahélien, dans la partie nord du pays, et caractérisé par une longue saison sèche, une pluviométrie annuelle inférieure à 650 mm, avec des températures moyennes élevées (35-37°C) ;

- le climat sub-sahélien a son influence entre le 14e et le 13e parallèle. La pluviométrie annuelle varie entre 600 et 750 mm, sur 4 mois.

- le climat nord-soudanien situé entre les latitudes 13° et 11°30'. Il se caractérise par une pluviométrie annuelle comprise entre 750 mm et 1000 mm. La saison pluvieuse dure 5 à 6 mois ;

- le climat sud-soudanien où la pluviométrie varie entre 1000 et 1200 mm. La durée de la saison des pluies est de 6 à 7 mois.

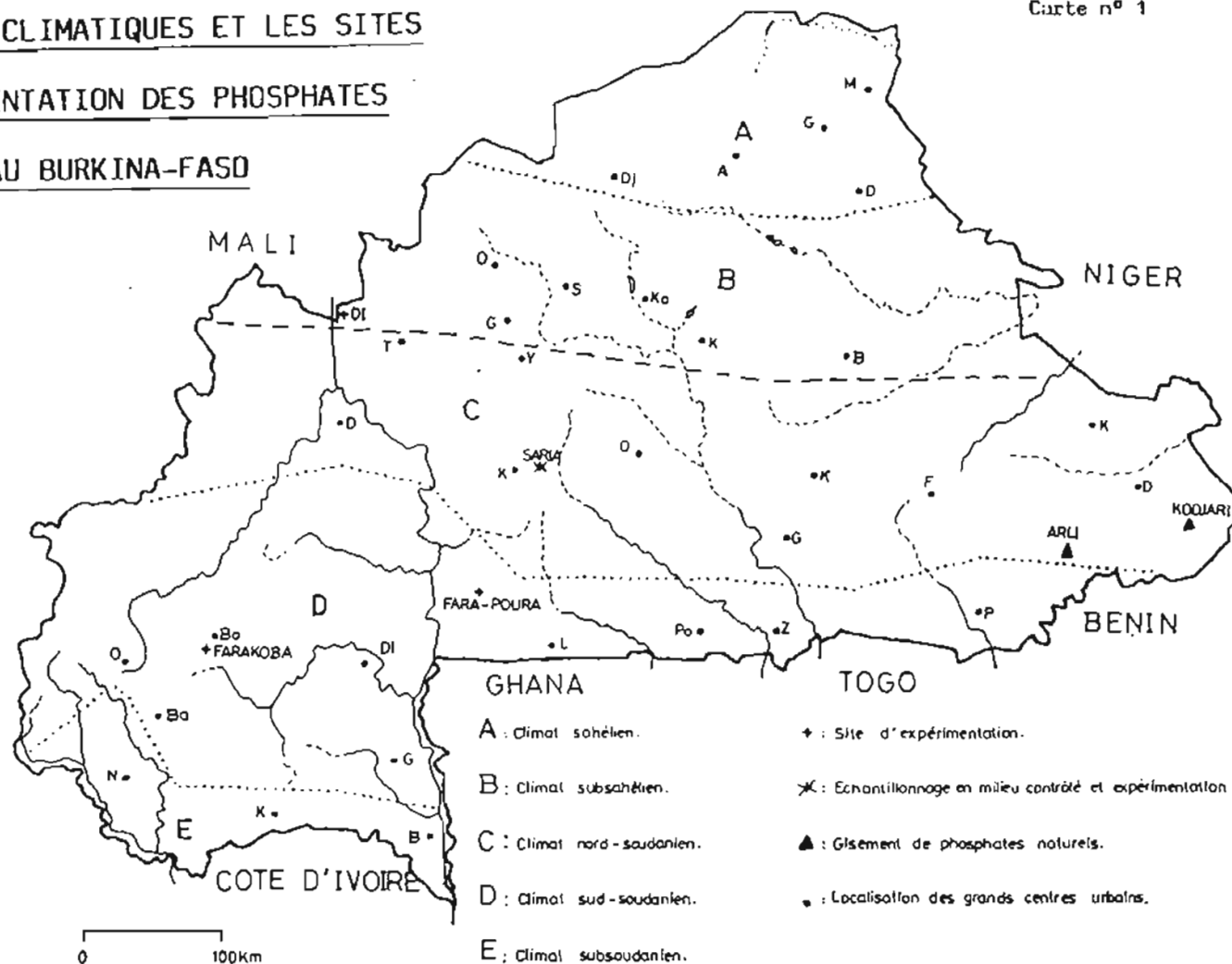
- enfin le climat sub-soudanien, transition avec le climat guinéen. La pluviométrie y varie entre 1200 et 14000 mm, pour une durée de 7 à 8 mois.

LES ZONES CLIMATIQUES ET LES SITES

D'EXPERIMENTATION DES PHOSPHATES

NATURELS AU BURKINA-FASO

Carte n° 1



Source : D'après GINKO S., 1984

Les isohyètes moyennes annuelles et les pluviométries annuelles atteintes ou dépassées 8 ans sur 10 ont énormément varié, traduisant la dérive climatique que connaît le pays depuis 1950 (SOME, 1989).

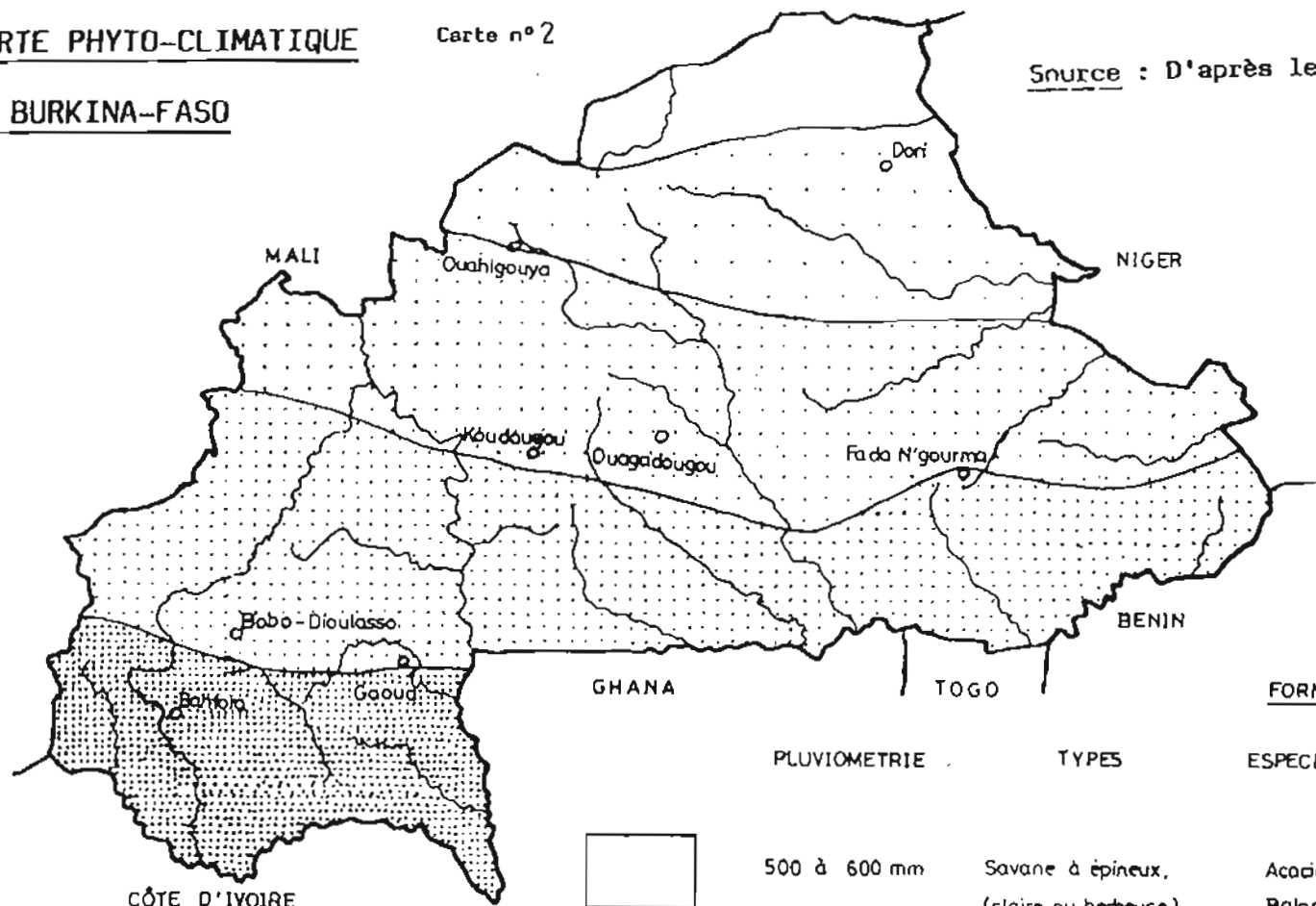
La végétation est caractérisée par un développement important du tapis graminéen continu ou discontinu et la prédominance de formations végétales telles que les steppes, les savanes et les forêts. GUINKO (1984) définit deux domaines phytogéographiques, subdivisés en secteurs et districts. La carte n°2 (GUILLOBEZ, 1985) définit les aires de répartition des espèces en fonction des contraintes climatiques (pluviométrie annuelle, température moyenne, longueur de la saison des pluies, ETP moyenne journalière).

CARTE PHYTO-CLIMATIQUE

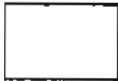
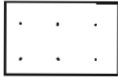
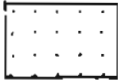
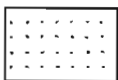
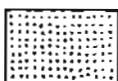
Carte n° 2

DU BURKINA-FASO

Source : D'après les travaux de l'IRAT au BURKINA-FASO



Echelle : 1 / 5 000 000

	PLUVIOMETRIE	TYPES	FORMATIONS VEGETALES	
			ESPECES PRINCIPALES	ESPECES SECONDAIRES
	500 à 600 mm	Savane à épineux, (claire ou herbeuse).	<i>Acacia radiana</i> , <i>Balanites aegyptiaca</i> .	<i>Pterocarpus lucens</i> , <i>Adansonia digitata</i> .
	600 à 700 mm	Savane arbustive.	<i>Balanites aegyptiaca</i> .	<i>Pterocarpus lucens</i> , <i>Combretum micranthum</i> .
	700 à 950 mm	Savane arborée claire.	<i>Butyrospermum paradoxum</i> ,	<i>C. micranthum</i> - <i>Detarium</i> - <i>microcarpum</i> - <i>Angeissus leiocarpus</i> .
	950 à 1100 mm	Savane arborée.	<i>Butyrospermum paradoxum</i> , (<i>Parkia biglobosa</i>).	<i>D. microcarpum</i> - <i>A. leiocarpus</i> , <i>C. glutinosum</i> .
	1100 à 1400 mm	Savane arborée. Forêt claire.	<i>B. paradoxum</i> - <i>P. biglobosa</i> , <i>Isobertinia dokai</i> .	<i>D. microcarpum</i> .

• Plusieurs groupes de sols ont été identifiés en fonction des processus d'altération dominants et sont représentés sur la carte n°3. Ce sont :

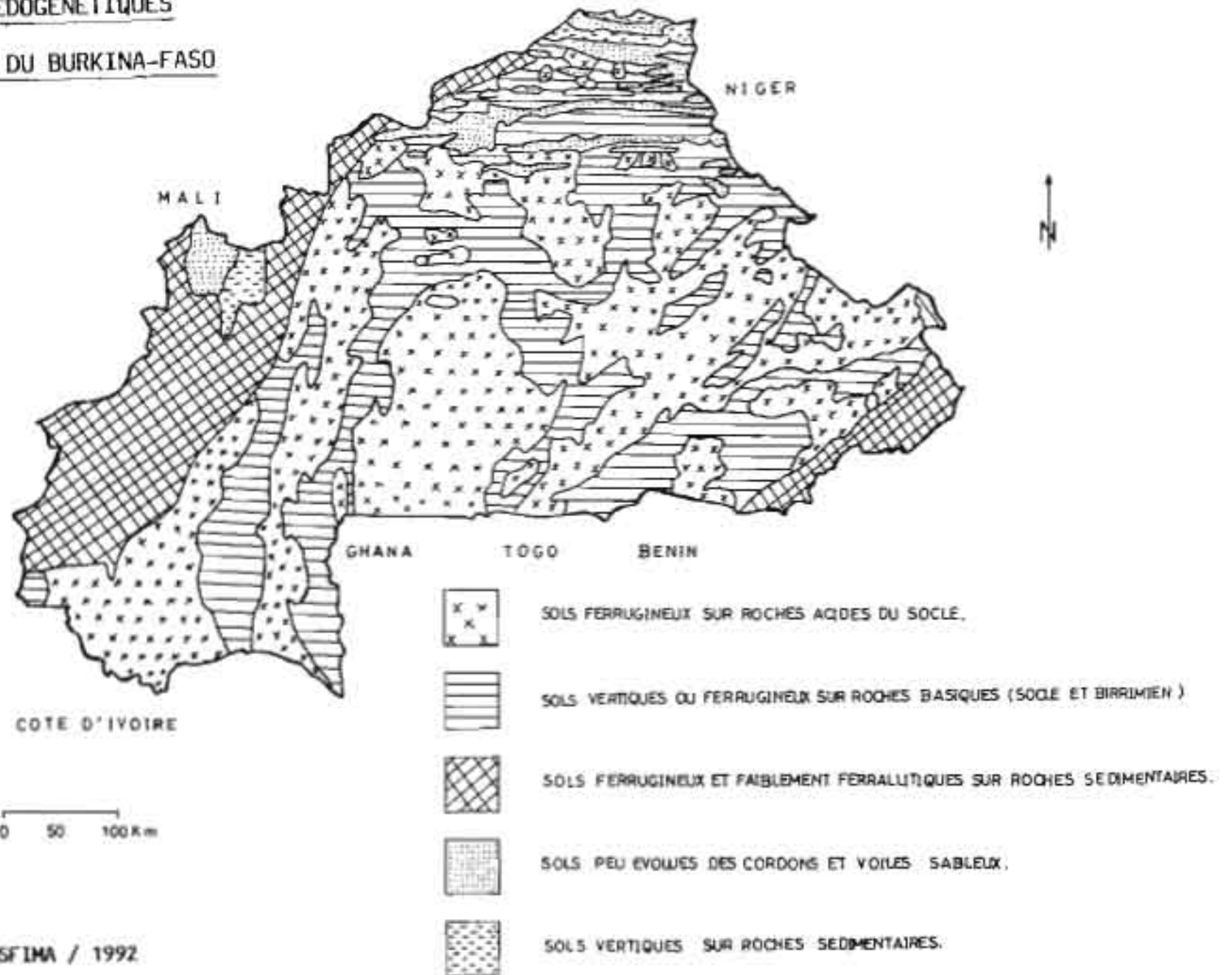
- les sols ferrugineux plus ou moins lessivés et indurés (39,1 p.c. des sols) et les sols ferrallitiques (1,9 p.c.). Ces sols sont issus d'une altération kaolinitique ;

- les sols vertiques qui comprennent les vertisols (5,8 p.c.), les sols bruns eutrophes (6,8 p.c.) et les sols à alcalis ou sodiques (4,8 p.c.) sont d'altération de type montmorillonitique ;

- enfin les sols non climatiques dans lequel ont regroupe les sols hydromorphes (12,8 p.c.), les lithosols (3,2 p.c.) et les sols peu évolués (26,2 p.c.).

D'une manière générale, comme le montre la carte n°4, le Burkina Faso connaît une dégradation de ses milieux naturels sous l'influence dominante du climat et des hommes principalement à travers l'agriculture et l'élevage.

PROCESSUS PEDOGENETIQUES
ET GEOLOGIE DU BURKINA-FASO

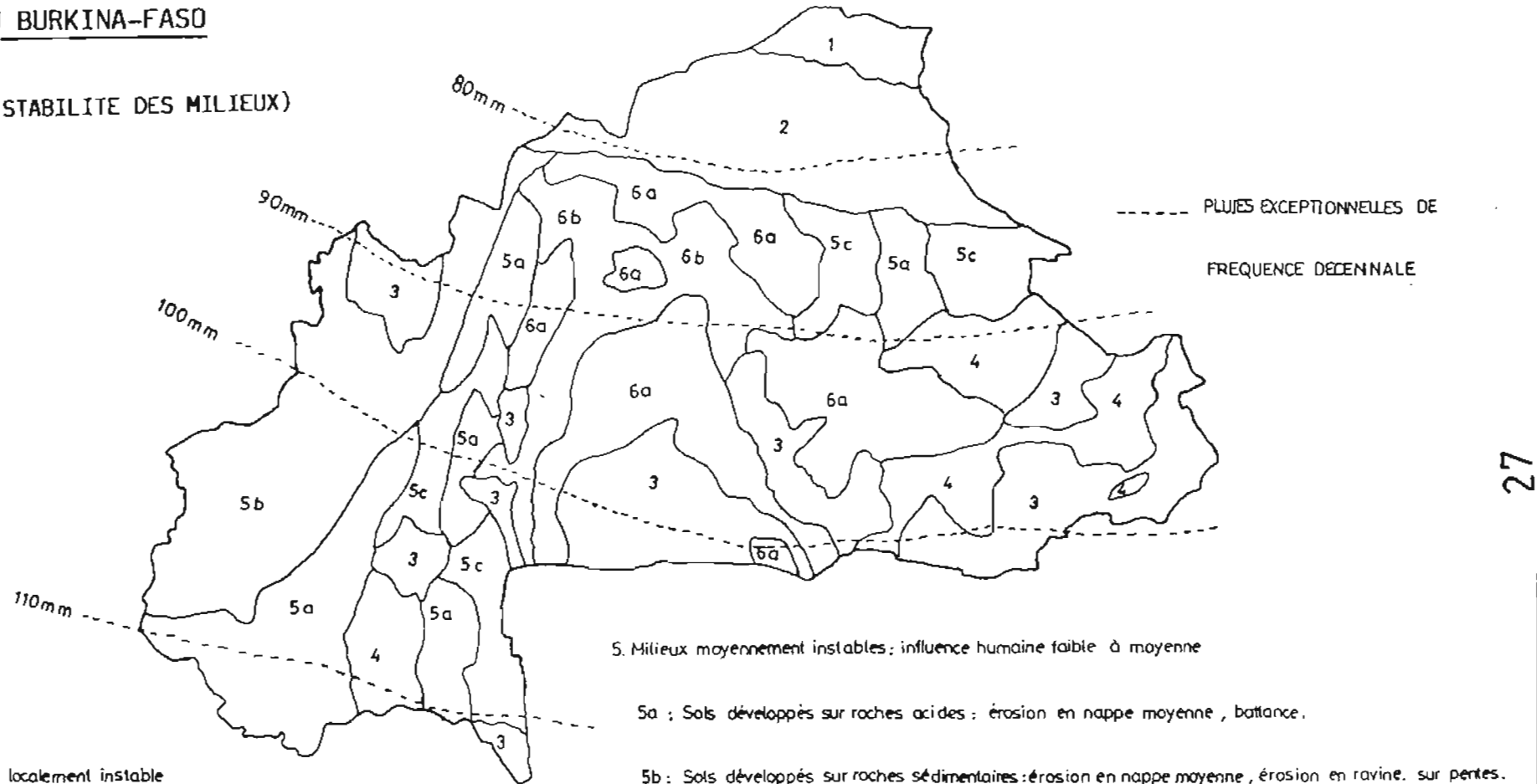


CARTE DE LA DEGRADATION DES MILIEUX

Carte n°4

AGRICILES AU BURKINA-FASO

(ESQUISSE DE LA STABILITE DES MILIEUX)



0 50 100km

Source : L'JERA / ESFIMA / 1992

2.2. LES SITES D'ETUDE

Différents types de sols ont été prélevés dans plusieurs zones agropédoclimatiques du pays, pour les besoins de cette étude. Ces sites sont : Saria (milieu paysan), Farako-Bâ, Di et Fara Poura pour les expérimentations en milieu contrôlé et Saria (station) pour les dispositifs à plus ou moins long terme. La localisation des différents sites a été donnée dans la carte 1.

• Le site de Saria est situé sur le Plateau Central, sous influence du climat nord-soudanien dans le secteur soudanien septentrional dans un milieu très instable à cause de la forte influence humaine. Saria abrite une station de recherches agricoles et est situé à 80 km au nord-ouest de Ouagadougou et à 23 km de Koudougou. Ses coordonnées géographiques sont : altitude : 300 m - latitude : 12° 16'N - longitude : 2°9'O.

La figure n°1 donne l'évolution de la pluviométrie annuelle depuis 1980. La durée de croissance végétative varie entre 100 et 150 jours ; la demande climatique (ETP) est élevée : 1700 à 2000 mm/an. Les températures moyennes sont de l'ordre de 28°C (maxima en mars-avril 40°C, minima en Décembre et Janvier 12-15°C).

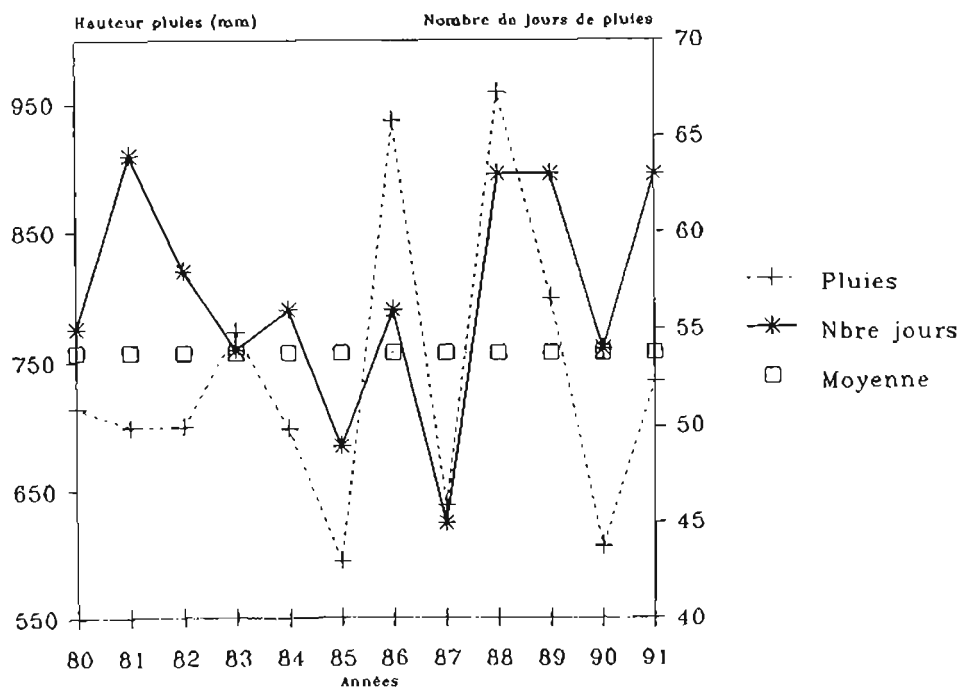


Fig.1: Evolution de la pluviométrie annuelle de Saria (80-91)

L'humidité relative est faible en saison sèche (15 p.c en février) et élevée en saison pluvieuse (60-80 p.c).

Une étude morphopédologique de reconnaissance du terroir de Saria réalisée par Bertrand (1989) cité par SEDOGO (1993) a dégagé quatre interfluves comprenant chacun cinq unités de paysage qui sont :

- * le sommet d'interfluve (SI) dominé par des cuirasses ferrugineuses ;
- * le haut de versant (H.V) où prédominent des sols rajeunis ;
- * le bas de versant (B.V) ;
- * le remblai alluvial (R) limité autour des cours d'eau;
- * et les bas-fonds.

La majorité des sols cultivés sont situés dans le bas de versant et appartiennent à la classe des sols ferrugineux tropicaux (JENNY, 1964). Selon BELIERES et al. (1989) cités par SEDOGO (1993) les systèmes de production du terroir de Saria sont caractérisés par :

- des exploitations de taille moyenne : 4,30 ha pour un ensemble de 8 parcelles, avec en moyenne 8,2 personnes dont 4 à 5 actifs ;

- un mouvement migratoire important ;

- une prédominance de la culture manuelle (71 p.c. des exploitations contre 23 p.c. en traction asine et 6 p.c. en traction bovine) avec le sorgho blanc et rouge, le mil, le niébé et l'arachide comme spéculations dominantes ;

- une faible utilisation d'intrants agricoles.

• Le site de Fara Poura est localisé dans le sud-ouest du pays à 30 km environ au sud de Boromo.

Les coordonnées géographiques de la zone d'aménagement où les échantillons de sol ont été prélevés sont les suivantes :

* latitude : 11° 29' N
* longitude : 2° 41' N

Le climat est de type sud-soudanien avec une pluviométrie annuelle comprise entre 700 et 1150 mm. Les températures varient entre 15° en décembre-janvier et 38° en mars-avril. L'humidité relative oscille entre 25 p.c. de décembre à mars et 69% de avril à octobre. La demande climatique est de 4mm/j en août et 6 mm/j en mars, avril, mai. Du point de vue végétation, la zone de Fara Poura se situe dans le domaine phytogéographique soudanien. La flore des galeries forestières est dominée par les espèces soudanaises. Les paysages de la savane arbustive sont constitués par des espèces telles *Combretum nigricans*, *Piliostigma thonningii*, *Terminalia avicennioides* etc.

Dans la savane arborée, on rencontre *Tamarindus indica*, *Detarium microcarpum*, *Lannea acida*, *Bombax costatum*, *Anogeissus leiocarpus*. Les marécages sont peuplés par *Mitragyna inermis*, *Piliostigma thonningii*, et parfois par une strate herbacée à *Vetiveria nigritana*.

Le relief est peu accidenté. On rencontre des glacis colluviaux et versants à pente plus ou moins marquée. On y trouve des roches métamorphiques d'origine volcano-sédimentaire du Birrimien.

Le régime hydrographique est dominé par le Mouhoun et ses affluents.

La zone de Fara Poura a été récemment libérée de la simolie et constitue une zone d'accueil de migrants. Des efforts ont été déployés en vue de l'intensification de l'agriculture. Il s'agit donc d'un milieu pénestable, à influence humaine de plus en plus contrôlée.

• Le site de Farako-Bâ abrite une Station de Recherche et est situé à 11 km au Sud-Ouest de Bobo-Dioulasso. Ses coordonnées géographiques sont :

* altitude	:	405 m
* longitude	:	4° 20' O
* latitude	:	11° 6' N

Le climat est de type soudanien avec une pluviométrie moyenne annuelle de 1014 mm (sur 12 ans). Les températures varient entre 14,8°C en décembre et 35,8°C en avril. L'ETP est de 8,9 mm/j en janvier-février et 3,7 mm/j en août. L'humidité relative est très élevée de juin à octobre (68-82 p.c.).

La végétation appartient au domaine phytogéographique soudanien. Les galeries forestières sont à espèces sempervirentes (*Antiaris africana*, *Antidesma venosum*, *Carpa procera* etc.).

Le régime hydrographique est dense avec des fleuves comme la Comoé et le Mouhoun.

D'après JENNY (1965) les sols rouges de Farako-Bâ sont les moins évolués des sols ferrallitiques, susceptibles à l'érosion en nappe et à la battance. Du point de vue dégradation, le milieu est moyennement instable avec une influence humaine faible à moyenne. La durée de la période de végétation varie entre 120 et 150 jours.

• Site de Di abrite une station de recherche, et est situé à 30 km à l'ouest de Nouna et à 40 km à l'ouest de Tougan. Ses coordonnées géographiques sont :

* latitude : 13° 11' N
* longitude : 3° 33' O

Le climat est de type sub-sahélien, avec une pluviométrie moyenne annuelle de 668 mm (1950-1990). Les températures moyennes sont constantes et élevées au cours de l'année, elles atteignent 34°C en mars-avril. L'humidité relative est faible pendant la saison froide et augmente avec la pluviométrie. L'évaporation est à son maximum pendant la saison sèche et chaude.

La végétation relève du secteur sub-sahélien du domaine phytogéographique sahélien. On y rencontre deux grands types de formations végétales édaphiques :

- dans les zones à inondation prolongée, le tapis graminéen est dominé par *Echinochloa stagnina* et *Sesbania sp.* On y rencontre des espèces telles *Mitragyna inermis*, *Piliostigma thonningii*, *Daniella oliveri* etc.

- dans les zones exondées la végétation est fonction du type de sol.

Du point de vue végétation, Di est situé dans la Vallée du Sourou, dans la zone d'effondrement de la plaine du Gondo. Le substratum géologique est de type dolomitique qui détermine un modèle à cuvettes d'effondrement. Les dépressions ont en moyenne 100 à 300 m de diamètre. Les sols sont en majorité bruns eutrophes.

Le réseau hydrographique est formé par le Sourou (un affluent du Mouhoun) et par le Debe.

Le site de Di a été choisi à cause de l'importance des infrastructures hydro-agricoles qui s'y développent. Les spéculations dominantes sont le mil et le maïs. Les possibilités d'irrigation et les températures sont propices à la culture du riz et du blé.

CHAPITRE III. MATERIELS ET METHODES D'ETUDE

3.1. MATERIELS D'ETUDE

3.1.1. Les sols

a) Etudes en milieux contrôlés

Les études en milieux contrôlés (incubation, et vases de végétation) ont été menées sur des échantillons prélevés dans l'horizon 0-20 cm de quatre types de sols déjà décrits par LOMPO (1989). Les caractéristiques physiques et chimiques de ces sols telles que présentées dans le tableau n°1, peuvent pénaliser la croissance des plantes. Les formes de phosphore non directement accessibles (P-Fe, P organique et les formes d'inclusion) dominant .

b) Expérimentations au champ

Les expérimentations ont été conduites sur deux sols ferrugineux tropicaux lessivés de la Station de Recherche de Saria. Le tableau n°2 en donne les principales caractéristiques.

3.1.2. Les engrais phosphatés

Les engrais phosphatés utilisés dans les différentes études sont le phosphate supertriple (TSP), les phosphates naturels du Burkina Faso (BP) et les phosphates naturels du Burkina, partiellement solubilisés (BPa).

▪ Les phosphates naturels du Burkina

Les phosphates naturels du Burkina du point de vue de leur formation appartiennent au groupe ancien formé dans le bassin sédimentaire de la volta (SEDOGO et al., 1983 ; TRUONG, 1989). En fait, il existe deux principaux gisements au Burkina : ARLI et KODJARI, le premier est inexploité.

Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques des sols étudiés (milieux contrôlés)

	Sol ferrug. neux I (Saria)	Sol ferrug. neux II (Fara Poura)	Sol ferral- litique (Farako-bâ)	Sol brun vertique (Di)
<u>Granulométrie</u> : %				
- Argile	28,8	13,3	11,5	30,3
- Limon fin	7,0	7,0	3,5	5,0
- Limon grossier	18,3	7,5	17,6	45,6
- Sable fin	22,1	18,7	53,3	9,4
- Sable grossier	23,8	53,6	14,1	9,7
PF 2,5	11,23	8,66	5,74	20,75
PF 4,2	5,14	4,22	2,68	9,72
pH eau	5,18	7,02	5,61	7,00
pH KCl	4,57	5,86	4,18	5,77
Mat. Org. (cx2) %	1,44	0,92	0,66	2,42
C %				
N total %	0,72	0,46	0,33	1,21
NH ⁴⁺ ppm	0,37	0,29	0,23	0,71
NO ³⁻ ppm	11,5	9,0	12	13,4
NOS ppm	2,5	2,8	3,1	2,2
C/N	40,3	40,9	33,0	45,9
CEC méq/100	19	16	14	17
Ca ⁺⁺ méq/100	2,54	4,17	6,75	15,33
Mg ⁺⁺ méq/100	1,24	1,66	2,52	10,10
K ⁺⁺ méq/100	0,20	0,10	0,50	3,50
Na ⁺⁺ méq/100	0,01	0,01	0,01	0,69
S	0,05	0,05	0,06	0,07
V %	1,49	1,81	3,08	14,36
	59	43	46	94
Phosph et formes (en ppm p)				
P. total				
P. assimil. Bray2	67,28	58,70	61,62	102,16
P. soluble	1,47	2,25	1,25	1,05
P-Fe	0,67	0,52	0,43	0,52
P-Al	3,18	2,99	3,19	7,47
P-Ca	1,71	2,00	2,34	1,71
P-Fe occlus	0,67	0,62	0,81	0,62
P-Al occlus	0,44	1,71	2,30	1,83
P-Al-Fe occlus	1,22	0,71	1,05	0,76
P-organique	14,06	2,86	5,27	10,77
Fer libre %	45,31	47,81	46,20	76,03
CaCO ₃ %	0,072	0,047	0,051	0,10
Aluminium total %	1,25	3,75	1,25	3,75
Argiles dominantes	0,84	1,22	0,83	1,02
	Kaolinite	Kaolinite	Kaolinite illite	Montmo- rillonite kaolinite

Source : LOMPO (1989)

**Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques du sol
(expérimentation au champ - Saria)**

	Parcelle P8 Horizon 0-18 cm
<u>Granulométrie p.c.</u>	
Argile	16,3
Limon fin	08,3
Limon grossier	23,1
Sable fin	23,1
Sable grossier	29,2
<u>Matières organiques</u>	
M.O.T p.c.	1,41
Carbone p.c.	0,82
Azote total p.c.	0,07
C/N	12
<u>Bases échangeables</u>	
Ca ⁺⁺ meq/100g	0,75
Mg ⁺⁺ meq/100g	0,22
K ⁺ meq/100g	0,07
Na ⁺ meq/100g	0,00
S meq/100g	1,04
T meq/100g	3,51
V p.c.	30
<u>Phosphore</u>	
P Total ppm	72
P assimilable ppm	6,06
pH eau	5,05
pH Kcl	4,00
K Total ppm	1060
Fe ₂ O ₃ libre p.c.	0,05
Fe ₂ O ₃ total p.c.	0,09
Fe ₂ O ₃ libre/Fe ₂ O ₃ total	55

* Localisation (Carte n°5)

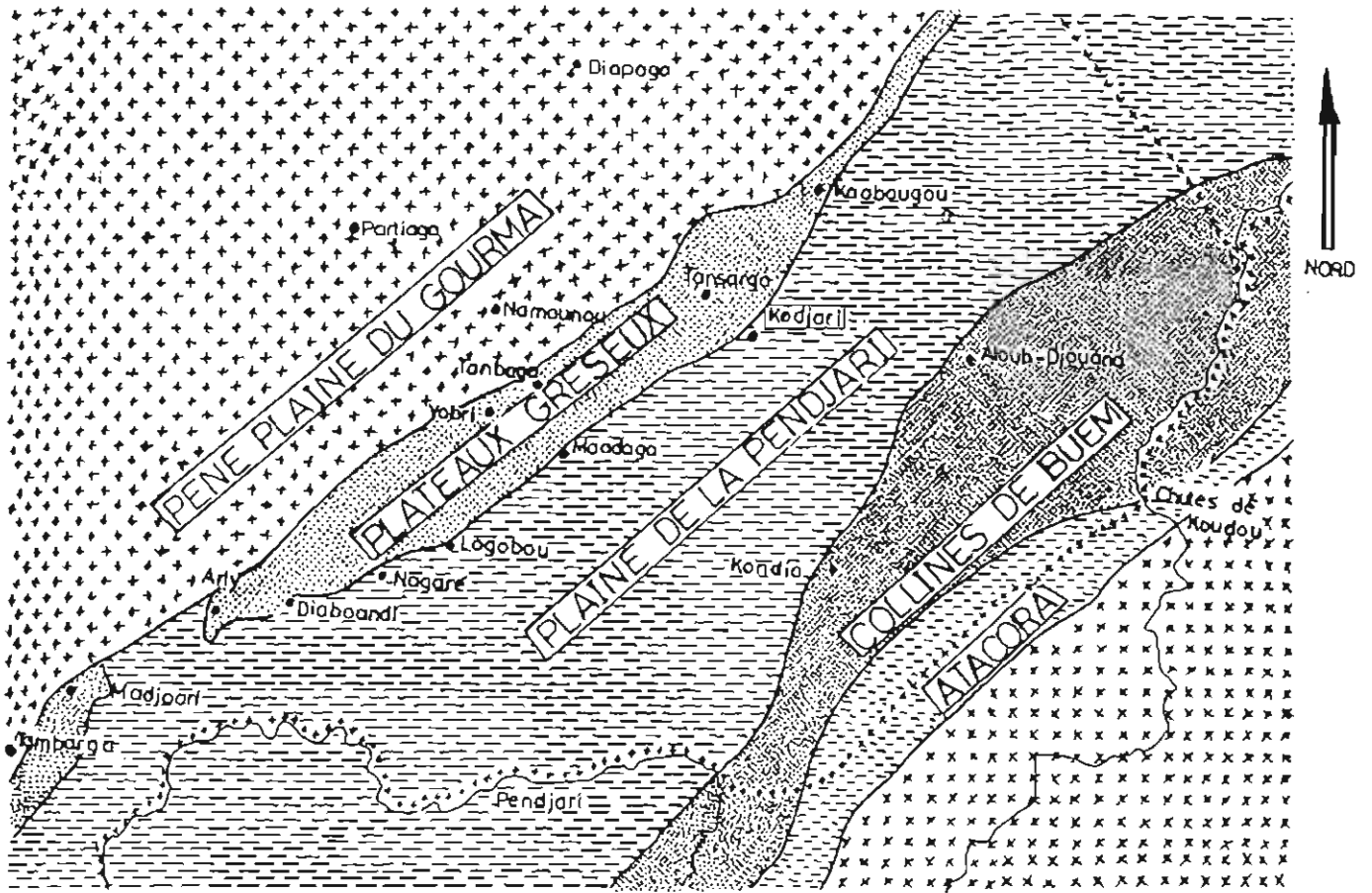
Kodjari est un village situé au Sud-Est du pays à une quarantaine de kilomètres de Diapaga, capitale de la province de la Tapoa. Le gisement affleure sur trois collines (A,B,C) sur une distance de 15 km. Les collines A et B présentent des teneurs en phosphore intéressantes.

* Composition

Le gisement de Kodjari repose sur trois horizons superposés, d'épaisseur et de composition variables (Paul, 1988) :

- la base est constituée par les laminites riches en silice, magnésium et carbonates de calcium ;
- les phospharénites très riches en silice occupent l'horizon intermédiaire ;
- enfin le sommet riche en oxydes de fer et en phosphates d'alumine.

Le tableau 3 donne la composition moyenne des phosphates naturels de Kodjari, dont les détails figurent en annexes 1a,b,c.



Carte n° 5 : LOCALISATION DU GISEMENT DE KODJARI

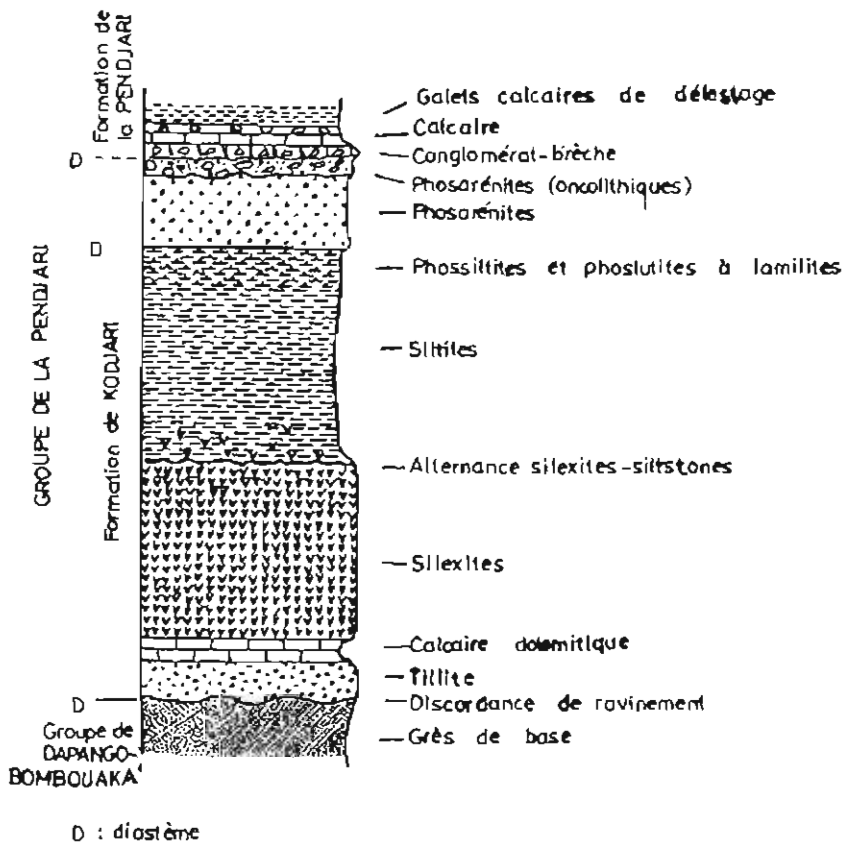
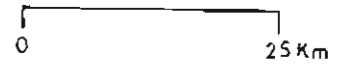


Schéma n° 2 : COUPE LITHOLOGIQUE DE LA FORMATION DE KODJARI

Tableau 3 : Composition des phosphates naturels de Kodjari en p.c.

P ₂ O ₅	25,4
CaO	34,5
Al ₂ O ₃	3,1
Fe ₂ O ₃	3,4
MgO	0,27
Na ₂ O	0,11
K ₂ O	0,23
F	2,5
S	0,04
Co ₂	1,0
SiO ₂	26,2
(Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃) / P ₂ O ₅	0,26
(Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃) / P ₂ O ₅	0,25
(CaO) / P ₂ O ₅	1,36

Source : Roy H. et Mc CLELLAN (1985).

* Réserves

Selon une étude réalisée par le CIRAD et TECHNIFERT (1992), la situation des réserves en millions de tonnes des collines A et B du gisement de Kodjari est la suivante (tableau 4).

Tableau 4 : Etat des réserves des phosphates de KODJARI

	Colline A	Colline B	Total
Coupure à 28p.c. de P ₂ O ₅	16	8	24
Coupure à 23p.c. de P ₂ O ₅	34	15	49
Coupure à 18p.c. de P ₂ O ₅	44	19	63

Au niveau de la colline A, plus facile à exploiter ; la situation peut se résumer comme suit :

- coupure de 28 p.c. P_2O_5 : réserves de 6,6 millions de tonnes exploitables pendant 206 années
- coupure de 27 p.c. P_2O_5 : 12,7 millions de tonnes, exploitables pendant 325 années.

* Solubilité

TRUONG et al. (1978) ont comparé les solubilités conventionnelles de trois minerais phosphatés (tableau 5) et ont conclu que selon les normes AFNOR (limite de solubilité de 55 p.c. dans l'acide formique à 2 p.c.), et parmi les phosphates d'Afrique de l'Ouest (Togo, Mali, Niger, Burkina), seul le minerai de TILEMSI au Mali peut être utilisé directement en agriculture, avec une efficacité équivalente à celle des phosphates solubles.

Tableau 5 : Solubilités conventionnelles de trois minerais phosphatés de l'Afrique de l'Ouest

Minerai	Solubilité (en p.c. P total) dans :			
	CITRATE AOAC	Acide citrique 2 p.c.	Acide formique 2 p.c.	Eau
ANECHO (Togo)	4,8	21,3	40,9	0,06
TILEMSI (Mali)	13,5	38,5	61,2	0,007
Kodjari (Burkina)	8,0	24,5	48,5	0,03

Source : TRUONG et al. (1978)

Ainsi donc les phosphates naturels du Burkina, en particulier du gisement de Kodjari, sont classés parmi les phosphates durs, à cause de leur forte teneur en silice.

a) Du point de vue physique, ces phosphates,

- sont à dominance de quartz, durs à broyer (avec des risques de dommages sur les machines de broyage) ;

- ont une valeur "a" élevée (a= 9,366) qui indique qu'il s'agit d'une apatite peu carbonatée et par conséquent stable ;

- ont une composition granulométrique indiquant que 90 p.c. du produit ont une finesse inférieure à 112 μm (selon le laboratoire THOMTON - USA, 1979).

b) Du point de vue chimique, les analyses font apparaître :

- une teneur en P_2O_5 total élevée (25 p.c.) mais dont la portion soluble dans l'eau est faible (0,03 p.c.) ;

- une teneur en CaO élevée (33 p.c.) mais dont le calcium ne semble pas actif (SEDOGO et al., 1978; GUIRA, 1988) ;

- une présence importante d'éléments tels Fe_2O_3 (3,1 p.c.) et Al_2O_3 (4,1 p.c.) reconnus pénalisants pour le traitement industriel et l'utilisation des phosphates bruts ou des produits issus de leur transformation.

▪ Les phosphates naturels partiellement solubilisés

Différentes attaques ont été testées sur les phosphates du Burkina :

- attaque avec H_2SO_4 à 93 p.c.
- attaque avec H_3PO_4 à 53,5 p.c. P_2O_5
- attaque mixte ($H_2SO_4 + H_3PO_4$)
- attaque complexe ($H_2SO_4 +$ phosphate mono-ammonique)

Dans les expérimentations dont les résultats sont présentés dans cette étude, seuls les produits issus de la première attaque ont été utilisés.

Le tableau 6 donne la composition des phosphates naturels partiellement solubilisés. Les détails figurent en annexe 2.

Tableau 6 : Composition des phosphates partiellement solubilisés du Burkina Faso

	P_2O_5 total p.c.	P soluble eau p.c.	P soluble citrate p.c.	Soufre total p.c.	Calcium total p.c.
Attaque H_2SO_4 (IFDC)	20,8	4,0	2,8	6,6	20
Attaque H_3PO_4 (TIMAC)	28,1	6,4	-	2	25

3.1.3. La Dolomie de Tiara

La dolomie utilisée comme amendement calco-magnésien dans les expérimentations au champ, ou pour enrichir les composts, est un sous-produit d'une production artisanale de carreaux à partir d'un gisement de calcaire dolimitique découvert en 1943 et localisé à TIARA, à 32 km au sud-ouest de Bobo-Dioulasso. Les réserves sont faibles et estimées à 40.000 tonnes (Bousquet, 1964 ; Trinquard, 1967).

Sa composition selon le Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina (BUMIGEB) est la suivante :

MgO	: 19 p.c.
CaO	: 27 p.c.
Al ₂ O ₃	: 1 p.c.
Fe ₂ O ₃	: 1 p.c.
SiO ₂	: 17 p.c.

3.1.4. Le matériel végétal

Le mil (*Pennisetum glaucum*) à cause de ses petites graines et de son aptitude à la reprise après plusieurs coupes a été utilisée dans les tests en vases de végétation pour l'évaluation agronomique de la qualité des composts.

Le sorgho (*Sorghum vulgare*) variété E35-1 est utilisé dans les expérimentations au champ. Elle est originaire d'Ethiopie,

partiellement sensible à la photopériode. Son cycle semis-récolte est de 125 jours, avec un potentiel de rendement de 4t/ha. A partir de 1988, cette variété a été remplacée par la ICSV 1049 issue d'un croisement de E35-1 et de Framida. Son cycle semis-récolte est de 105-110, avec un rendement potentiel de 5T/ha.

3.1.5. Les substrats organiques

Les pailles de sorgho et de maïs utilisées lors des compostages proviennent des parcelles d'expérimentation et de multiplication de semences des stations de Saria et Di.

3.1.6. Le fumier

La composition du fumier utilisé dans les expérimentations est très variable. Elle est fonction de plusieurs paramètres dont le type de matériau utilisé, la technique, la durée et l'époque de production.

Le tableau 7 donne la variation de la composition du fumier. Ainsi le fumier constitue une source d'éléments minéraux (Ca, Mg, K) mais est par contre pauvre en phosphore.

Tableau 7 : Composition du fumier de Saria

Années de mesures	N p.c.	P p.c.	K p.c.	Ca p.c.	Mg p.c.	Na p.c.	S p.c.	C p.c.	C/N
1970 (ARRIVETS)	2,48	0,51	4,26	1,00	0,67	0,25	-	35,5	14
1981 (SEDOGO)	1,47	0,24	1,62	1,08	0,49	-	-	21,7	15
1991 (SEGDA)	1,27	-	-	-	-	-	-	22,3	17,5

3.1.7. Les cendres

Il s'agit de cendres de foyer dont la composition est fonction du combustible utilisé (résidus cultureux ou bois). Dans tous les cas, il s'agit essentiellement d'une source d'éléments minéraux, le potassium en particulier. Pieri (1976) cité par BAZIE (1984) estime les teneurs minérales des cendres des foyers comme suit (en p.c.) :

N : 0,15 K₂O : 3,21

P₂O₅ : 1,39 CaO : 7,39

3.1.8. L'inoculum

Il s'agit d'un activateur de compost appelé Micro 110 commercialisé par IBF (Integrated Biological Farming Company) et composé de microorganismes et d'enzymes capables de dégrader la cellulose et la lignine. Il contient des oligo-éléments, et une enzyme sur un milieu organique enrichi.

3.2. METHODES D'ETUDE

3.2.1. Méthodes de production des composts

Deux techniques de compostage ont été expérimentées :

a) Le compostage aérobic

▪ Compostage de la paille de sorgho

Il a été réalisé dans des fosses étanches. Cinq types de composts ont été produits à partir du compostage pendant six mois du mélange litière, phosphates naturels, (LOMPO, 1989) :

- * compost 1 : litière seule compostée
- * compost 2 : (litière + 20kg P.N/t litière) compostée
- * compost 3 : (litière + 40kg P.N/t litière) compostée
- * compost 4 : (litière + 80kg P.N/t litière) compostée
- * compost 5 : (litière + 100kg P.N/t litière) compostée

▪ Compostage de la paille de maïs

Le compost de paille de maïs a été obtenu à partir d'un compostage en tas de paille de maïs éclatée (75 p.c.) de fumier (25 p.c.), d'inoculum (0,5 kg/tonne du mélange paille + fumier) de phosphates naturels du Burkina (80 kg/t du mélange paille + fumier) et d'urée (12 kg/t du mélange paille + fumier).

Après quatre mois de compostage les produits suivants ont été obtenus :

- * paille seule servant de témoin
- * paille + fumier

- * paille + fumier + inoculum.
- * paille + fumier + phosphates naturels (P.N)
- * paille + fumier + inoculum + P.N
- * paille + fumier + inoculum + B.P + urée

b) Le compostage anaérobie

Il s'agit de la transformation des résidus culturaux à travers la filière biogaz compost qui comporte deux étapes :

- la production du biogaz et du compost
- la finition de ce compost résiduel dont certaines caractéristiques (le rapport C/N en particulier) en font un substrat organique peu différent des pailles brutes (SEDOGO, 1981).

La production du biogaz et du compost est faite dans des conditions d'anaérobiose à partir de la litière dans les cuves expérimentales de la station de recherches de Sarria, en utilisant le procédé discontinu.

La finition du compost qui consiste en un compostage complémentaire dans des conditions aérobies en fosses étanches, a été réalisée en présence de 40kgPN/t de substrat à composter), les cendres (20 kg/t de substrat), la dolomie (20 kg/t de substrat) et l'urée (12 kg/t de substrat).

Huit composts ont été ainsi obtenus, caractérisés et évalués après six mois de finition. Ce sont :

- composts résiduels seuls (C ANAE)
- composts résiduels + Urée (C ANAE/N)

- composts résiduels + P.N (C ANAE/P)
- composts résiduels + Urée + P.N (C ANAE/NP)
- composts résiduels + Cendres (C ANAE/C)
- composts résiduels + Dolomie (C ANAE/D)
- composts résiduels + P.N + Cendres (C ANAE/PC)
- composts résiduels + P.N + Urée + Cendres + Dolomie (C ANAE/NPCD)

3.2.2. Les expérimentations en milieux contrôlés

Elles ont été mises en place pour apprécier la qualité des composts à travers leurs effets sur les sols et sur la production de matière sèche d'une plante test, dans des conditions de température et d'humidité contrôlées.

a) Les incubations

- **Evolution du phosphore assimilable et du pH**

Deux tests ont été mis en place pour déterminer les effets d'enfouissement de composts aérobies et de composts anaérobies de paille de sorgho sur l'évolution du phosphore assimilable et du pH des sols.

Le dispositif concernant les composts de paille de sorgho a eu pour support les sols ferrugineux tropicaux lessivés de Saria et de Fara Poura, le sol ferrallitique de Farako-bâ et le sol brun vertique de Di.

Les cinq composts broyés finement sont enfouis à quantité de matière sèche constante (1,7g m.s kg⁻¹ sol, soit l'équivalent de 5t ms par ha) dans des pots contenant 160g de sol.

Une fumure minérale est apportée à raison de :

- * 67,5 ppm de N sous forme d'urée
- * 75 ppm de K " " de bicarbonate de potassium
- * 20 ppm de Ca " " de chlorure de calcium
- * 10 ppm de Mg " " de sulfate de magnésium
- * 13 ppm de S " " " "

L'ensemble est humidifié aux 4/9 de la capacité de rétention du sol, mis dans des pots et recouverts de parafilm et arrosés trois fois par jour.

Le dispositif se résume en six traitements par type de sol (y compris le témoin sol sans compost) en trois répétitions.

L'expérimentation a duré 30 jours ; les analyses et mesures suivantes sont faites :

- * P assimilable à 5, 10, 15, 20 et 30 jours
- * pH (eau) à 10, 15, 20 et 30 jours.

▪ Evaluation des composts anaérobies finis

Les composts anaérobies sont évalués uniquement sur les sols ferrugineux de Saria et ferrallitique de Farako-bâ.

Le dispositif est un factoriel 10 x 2, réalisé dans des pots de 2kg de contenance, de la même façon que le test sur les composts de paille de sorgho.

La durée de l'étude est de sept semaines avec dosage du phosphore assimilable et mesure du pH chaque semaine.

Les traitements se résument ainsi qu'il suit :

1.	Sol	}	
2.	Pailles brutes		
3.	C. ANAE		O N
4.	C. ANAE/N		
5.	C. ANAE/P		x
6.	C. ANAE/C		
7.	C. ANAE/NP		50 ppm N (Urée)
8.	C. ANAE/D		
9.	C. ANAE/PC		
10.	C. ANAE/NPC		

▪ Les tests respirométriques

L'objectif de ces tests réalisés avec les composts de pailles de maïs et de riz est de se faire une idée de leur aptitude à la biodégradation. Ces tests se basent sur le principe que l'enfouissement de substrat organique dans un sol entraîne des transformations se soldant entre autres par un dégagement de CO_2 .

Aussi ces tests témoignent-ils de l'intensité de l'activité biologique du sol, fonction de la nature biochimique des matières organique incorporées et de la disponibilité en éléments minéraux dont le phosphore.

La méthode utilisée est largement inspirée de celle utilisée par SEDOGO (1981). Les différents traitements (sol seul ou sol + compost) sont humidifiés aux 4/9 de la capacité maximale de rétention en eau du sol de référence et introduit dans des bechers de 100 ml qui sont placés dans des bocaux de 2 litres à fermeture hermétique. Deux autres bechers contenant respectivement 20 ml d'eau (pour maintenir l'humidité dans le bocal) sont placés dans chaque bocal.

Le dispositif comprend trois répétitions.

Pour les composts de paille de maïs, les traitements sont:

- sol seul	}	O N (N facteur limitant)
- sol + paille après 4 mois de compostage		
- sol + (paille + fumier) après 4 mois de compostage		x
- sol + (paille + fumier + inoculum) après 4 mois de compostage		75 ppm N (N non militant)
- sol+paille+fumier+inoculum+PN) après 4 mois de compostage		(urée)

Les apports ont été à quantité constante de compost (0,144g/100g de sol, soit 5t/ha). Le sol utilisé est celui de Saria.

La durée de l'expérimentation a été de vingt et un jours avec mesure du CO_2 dégagé quotidiennement jusqu'au 10e jour, puis tous les deux jours.

D'autres critères sont retenus pour l'appréciation de l'aptitude à la biodégradation de ces composts.

- les quantités cumulées de carbone dégagé
- le taux de minéralisation complémentaire (TMC) qui permet d'apprécier le pourcentage de biodégradation imputable aux substrats organiques.

Il s'obtient ainsi qu'il suit :

$$TMC = 100 \times \frac{C \text{ dégagé (sol + substrat)} - C \text{ dégagé (sol seul)}}{C. \text{introduit}}$$

- le taux de minéralisation complémentaire cumulé (TMC)

b) Les essais en vases de végétation

Les vases de végétation sont utilisés pour évaluer l'effet des composts de pailles de sorgho, de maïs, et de composts anaérobies sur :

- La production de matière sèche du mil
- La quantité de phosphore absorbé par la plante (uniquement pour les composts de paille de sorgho).

Le dispositif et les traitements sont les mêmes que ceux utilisés pour les tests d'incubation et de respirométrie.

La durée de l'expérimentation est variable :

- Huit semaines pour les composts de paille de sorgho avec quatre coupes faites aux 2^e, 6^e et 8^e semaines. Chaque coupe est suivie d'un apport de 50 ppm N sous forme d'urée ;

- six semaines pour les composts de pailles de maïs avec des coupes aux 2e, 4e et 6e semaines et apport de ppm N après chaque coupe ;

- sept semaines pour les composts anaérobies au cours desquelles trois coupes sont faites (3e, 5e et 7e semaines) ; suivies chacune d'un apport de 25 ppm N ;

- enfin quatre semaines pour les composts de pailles, de riz, avec une seule coupe. Pour cette expérimentation le poids des racines a été mesurée.

3.2.3. Les expérimentations au champ

a) Expérimentation sur les sources de phosphore

Un essai a été conduit dans ce cadre, il s'agit de l'essai phosphate/Saria-P8.

Mis en place depuis 1981, cette expérimentation compare les différents types d'engrais phosphates avec pour objectif la recherche d'une formule de fumure phosphatée à base de phosphates naturels du Burkina.

Prévu au départ pour une rotation sorgho/cotonnier, l'essai est conduit depuis 1983 en sorgho, pour tenir compte du système de culture dominant et surtout de la marginalisation de la culture du cotonnier dans la zone centre du pays.

De 1981 à 1986, l'essai a été mené suivant un dispositif en blocs complets de Fisher, en six répétitions et comportant les six traitements suivants :

- 1. Témoin NK
- 2. NPK (P = Phosphates Naturels)
- 3. NPK (P = Phosphates Naturels acidifiés à 50p.c.)
- 4. NPK (P = Phosphates Naturels + soufre)
- 5. NPK (P = Phosphates supertriple)
- 6. NPK (mélange phosphates naturels + phosphate supertriple)

A partir de 1987, un dispositif Split-plot est adopté par subdivision des parcelles suite à un apport de dolomie de Tiara (1500 kg/ha soit 405 kg CaO/ha et 285 kg MgO/ha) sur la moitié des parcelles élémentaires.

Les traitements principaux sont constitués par les six traitements initiaux ; les parcelles secondaires sont :

A : sans dolomie

B : avec dolomie

Les engrais phosphatés sont apportés à la dose de 25 kg P_2O_5 /ha/an.

La fumure NK est uniforme, annuelle et respectivement sous forme d'urée (60 N/ha) fractionnée (au semis et à la montaison) et de chlorure de potassium (44 kg K_2O /ha) au semis.

b) Etude de l'association des phosphates naturels et de la matière organique

Cet essai installé depuis 1982 compare les effets de formules de fumure à base de phosphates naturels associées ou non à la matière organique à ceux de la fumure vulgarisée.

A l'installation en 1982, le dispositif était en blocs de Fisher, avec sept traitements en six (6) répétitions indiqués sur le (tableau 8).

A partir de 1987 les parcelles élémentaires ont été subdivisées pour permettre d'évaluer l'effet de la dolomie de Tiara (1500 kg/ha) sur les rendements et sur l'acidité du sol.

Les traitements secondaires sont :

A : sans dolomie

B : avec dolomie

Comme dans le cas précédent, l'essai a été conduit en sorgho continu, à l'exception de l'année 1983 au cours de laquelle le cotonnier a été cultivé.

Tableau 8 : Association phosphates naturels-matières organiques traitements et formules de fumures (en kg/ha)

	<p>1. Témoin absolu</p> <p>2. Fumure vulgarisée*</p> <ul style="list-style-type: none"> - sorgho : 100 kg engrais coton + 50 kg urée (début montaison) - cotonnier : 150 kg engrais coton + 50 kg urée 40 JAS**
<p>Phosphates naturels du Burkina :</p> <p>Fumure annuelle</p>	<p>3. Phosphates naturels</p> <p>200 kg PN*** + 50 kg urée</p> <p>4. Phosphates naturels + fumier</p> <p>200 kg PN + 50 kg urée + 5T fumier/2 ans</p>
<p>Phosphates naturels du Burkina :</p> <p>Fumure de correction</p>	<p>5. Phosphates naturels</p> <p>400 kg PN la 1ère année (100 kg PN les années suivantes) + 50 kg urée</p> <p>6. Phosphates naturels</p> <p>400 kg PN la 1ère année (100 kg PN les années suivantes) + 50 kg urée 5 t fumier/2 ans</p>
	<p>7. Fumure mixte :</p> <p>100 kg PN + 50 kg engrais coton + 50 kg urée</p>

* Formule de l'engrais coton utilisé : 14-23-14-6S-1B.

** JAS : Jours Après Semis

*** P.N : Phosphates Naturels du Burkina

3.2.4. Les analyses physiques et chimiques

Elles ont été faites dans les laboratoires de Kamboinsé, Saria et du Bureau National des Sols, au Burkina Faso.

- la granulométrie par la méthode Internationale à la pipette Robinson.

- les pH (eau et KCl) du sol sont mesurés dans une suspension, par la méthode électrométrique au pH mètre à électrode de verre. Le rapport sol/solution est de 1/2,5 pour les sols et 1/5 pour les composts;

- l'azote total (sol et compost) est dosé par la méthode de KJELDHAL ;

- le dosage de l'azote minéral est identique pour le sol et les composts. Il consiste en une extraction par H_2SO_4 N/2 ou KCl N. Pour NH_4^+ , l'extrait est filtré et distillé en présence de magnésie (MgO) et dosé avec H_2SO_4 N/200.

L'extrait ayant servi au dosage de NH_4^+ est utilisé pour NO_3^- en ajoutant l'alliage de DEWARDA qui réduit les nitrates en azote ammoniacal, lequel est dosé comme précédemment par H_2SO_4 N/200.

- Le carbone du sol est déterminé par la méthode WALKLEY-BLACK qui consiste en une oxydation à froid du carbone du sol avec $K_2Cr_2O_7$ 1N en présence de H_2SO_4 N.

Le carbone des composts est obtenu par leur calcination dans un four à 550°C.

- Le CO₂ dégagé au cours des tests respirométriques et recueilli dans le bēcher contenant NaOH N/10 est précipité sous forme de carbonate de sodium par le chlorure de barium. L'excès de NaOH est dosé par HCl N/5.

- Les bases échangeables sont déplacés du complexe absorbant par une solution de thiourée d'argent (Ag H₂N CNH₂) et dosées par spectrophotométrie d'absorption atomique.

- La CEC se mesure à partir de la solution d'extraction des bases échangeables.

- Le fer libre est extrait par le dithionite de sodium (Na₂S₂O₄) et solubilisé par HCl. La mesure se fait au spectrophotomètre d'absorption atomique.

- Pour déterminer les carbonates du sol, on soumet l'échantillon à l'action d'un acide fort en excès. Il se produit une destruction des carbonates. L'excès d'acide est dosé par la soude en présence d'un indicateur coloré.

- Le phosphore total du sol est extrait par attaque perchlorique à chaud. Le dosage se fait par colorimétrie à 430 nm en présence du vanado-molybdate.

Le phosphore total des composts est déterminé à partir d'une extraction par l'acide nitrique concentré d'un compost calciné au four à 550°C. A 1 ml de l'extrait on ajoute 10 ml de vanadomolybdène. On ajuste à 25 ml avec l'eau distillée et on procède à la lecture au spectrophomètre d'absorption. Une gamme étalon permet d'obtenir la teneur de l'échantillon en phosphore.

▪ Le phosphore assimilable

Il est déterminé par la méthode BRAY I utilisant le fluorure d'ammonium 0,03 N et l'acide chlorhydrique 0,025 M comme solution d'extraction.

La mesure de l'extinction est fait à 720 nm.

▪ Le fractionnement du phosphore minéral du sol

La méthode Chang et Jackson (1957) a été utilisée. Elle est fondée sur l'extraction sélective des formes solubles et des formes d'inclusion double.

3.2.5. Les analyses statistiques et économiques

Le logiciel MSTATC mis au point par Michigan STATE University a été utilisé d'une part pour les analyses statistiques (analyse de variance, comparaison de moyennes etc.) et d'autre part pour les analyses économiques (taux marginal, risque et

bénéfice net...) des données des expérimentations, selon la méthode CIMMYT. Les données utilisées dans l'analyse économique proviennent :

- d'enquêtes menées durant trois ans sur les sites d'essai du volet expérimentation du projet engrais vivriers (temps de travaux) ;
- de l'OFNACER (Office National des Céréales) pour les prix des produits agricoles ;
- la SOFITEX pour les prix des intrants agricoles ;
- les programmes RSP et Productions Animales pour les prix des résidus cultureux (paille de sorgho, fânes d'arachide) et du fumier.

Deuxième Partie :

EXPERIMENTATIONS SUR LES PHOSPHATES NATURELS DE KODJARI

CHAPITRE IV. COMPORTEMENT DES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX
 LESSIVES VIS A VIS DES ENGRAIS PHOSPHATES

CHAPITRE V. ETUDE DE LA SOLUBILITE DES PHOSPHATES NATURELS DU
 BURKINA FASO : ACTIONS DE LA MATIERE ORGANIQUE

CHAPITRE VI. INTERET ECONOMIQUE DE L'ASSOCIATION PHOSPHATES
 NATURELS ET MATIERE ORGANIQUE

CHAPITRE IV. ETUDE DU COMPORTEMENT DES SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX LESSIVES VIS A VIS DES ENGRAIS PHOSPHATES

INTRODUCTION

Dans cette partie de notre travail, le comportement des sols ferrugineux lessivés, vis à vis de différentes sources de phosphore, est étudié à travers l'évolution des rendements, des bilans minéraux et des principales caractéristiques du sol.

Les traitements suivants sont analysés :

1. Témoin N K
2. NPK (P = Phosphates naturels du Burkina = P.N.)
3. NPK (P = UV 42 = Phosphates partiellement solubilisés)
4. NPK (P = TSP = Phosphate supertriple).

4.1. RESULTATS

4.1.1. Evolution des rendements

Deux périodes sont considérées dans cette évolution :

. de 1981 à 1991 : cette période permet d'apprécier les effets des sources de phosphore entre elles, mais aussi par rapport au témoin ;

. de 1988 à 1991 : les effets et arrières effets de la dolomie sur la performance des différentes sources de phosphore sont analysés.

a) Evolution des rendements sorgho de 1981 à 1991 (figure 2, annexe 3a)

D'une manière générale, on constate une baisse du niveau des rendements, au cours de l'expérimentation.

La baisse des rendements sorgho est très nette. Ainsi, entre 1981 et 1983, elle est de 33 p.c. sur le témoin NK. L'apport du phosphore semble atténuer ce phénomène puisque la baisse moyenne enregistrée sur les traitements apportant le phosphore est de 21 p.c., sur la même période.

En comparant les niveaux de rendements grains de 1981 et 1991, il apparaît une baisse importante des rendements de l'ordre de 71 p.c. sur le témoin NK. Sur les traitements recevant le phosphore, les baisses sont plus faibles et équivalentes (46 p.c. avec UV 42, 44 et 45 p.c. respectivement avec les phosphates naturels et le phosphate supertriple).

Sur les rendements pailles, le phénomène est également constaté, mais à un degré relativement faible. Ainsi, sur le témoin la baisse est de 73 p.c. ; elle est en moyenne de 56 p.c. sur les autres traitements.

Cette baisse concerne plus les rendements grains. En examinant l'évolution de certaines composantes du rendement de 1981 à 1987 (fig. 3, annexe 3b), on se rend compte que le nombre de panicules par ha et surtout le poids de grains par panicule ont connu d'importantes variations au cours des années d'expérimentations ce qui s'observe d'ailleurs lorsqu'on considère l'évolution du coefficient de variation qui est passé de 8 p.c. en 1981 à 38,8 p.c. en 1987.

D'une façon générale, l'apport de phosphore augmente les rendements quelle que soit la source et quelle que soit l'année avec une supériorité du TSP.

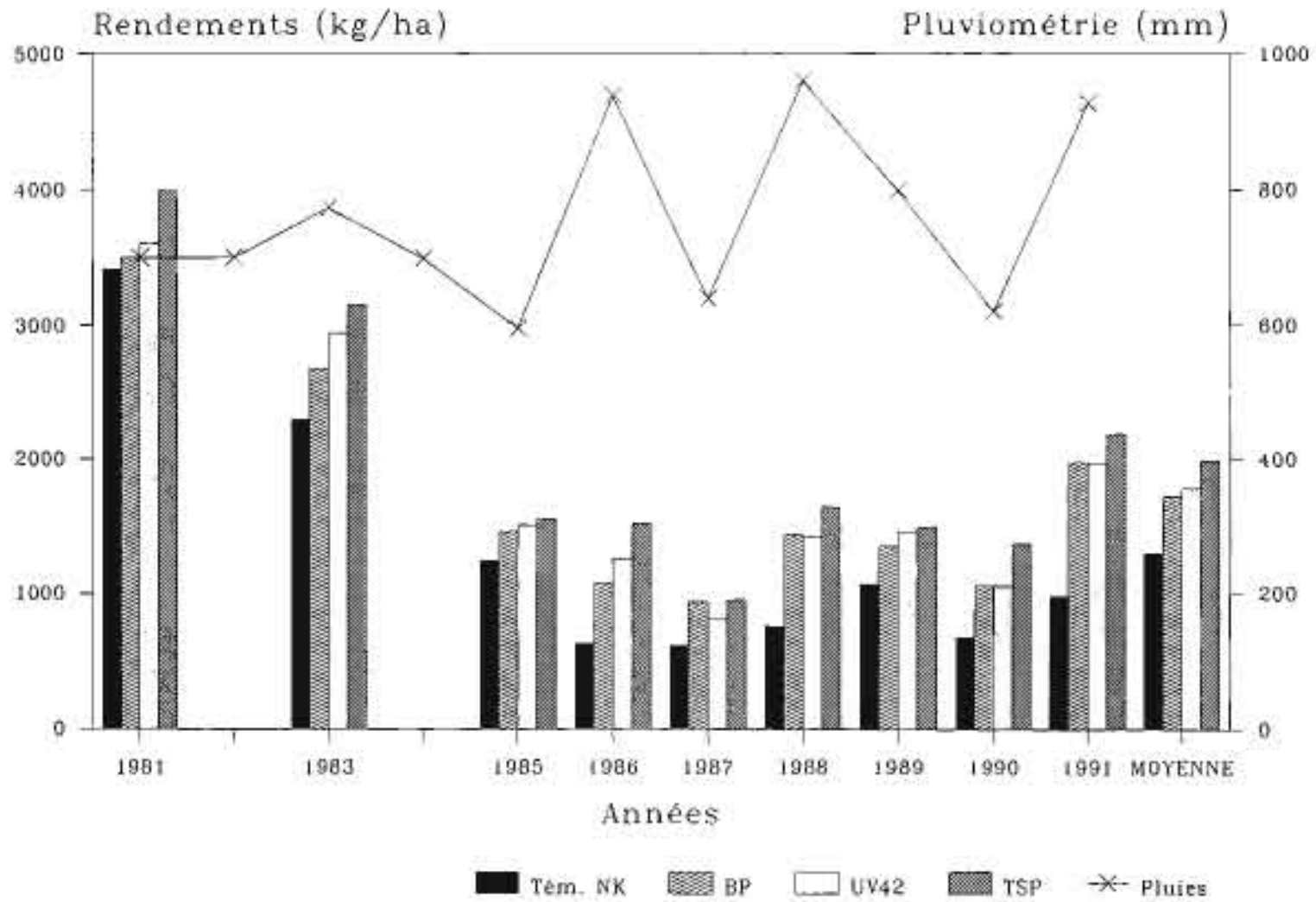


Figure 2 :Evolution des rendements de l'essai phosphate

Saria-P8 (1981-1991)

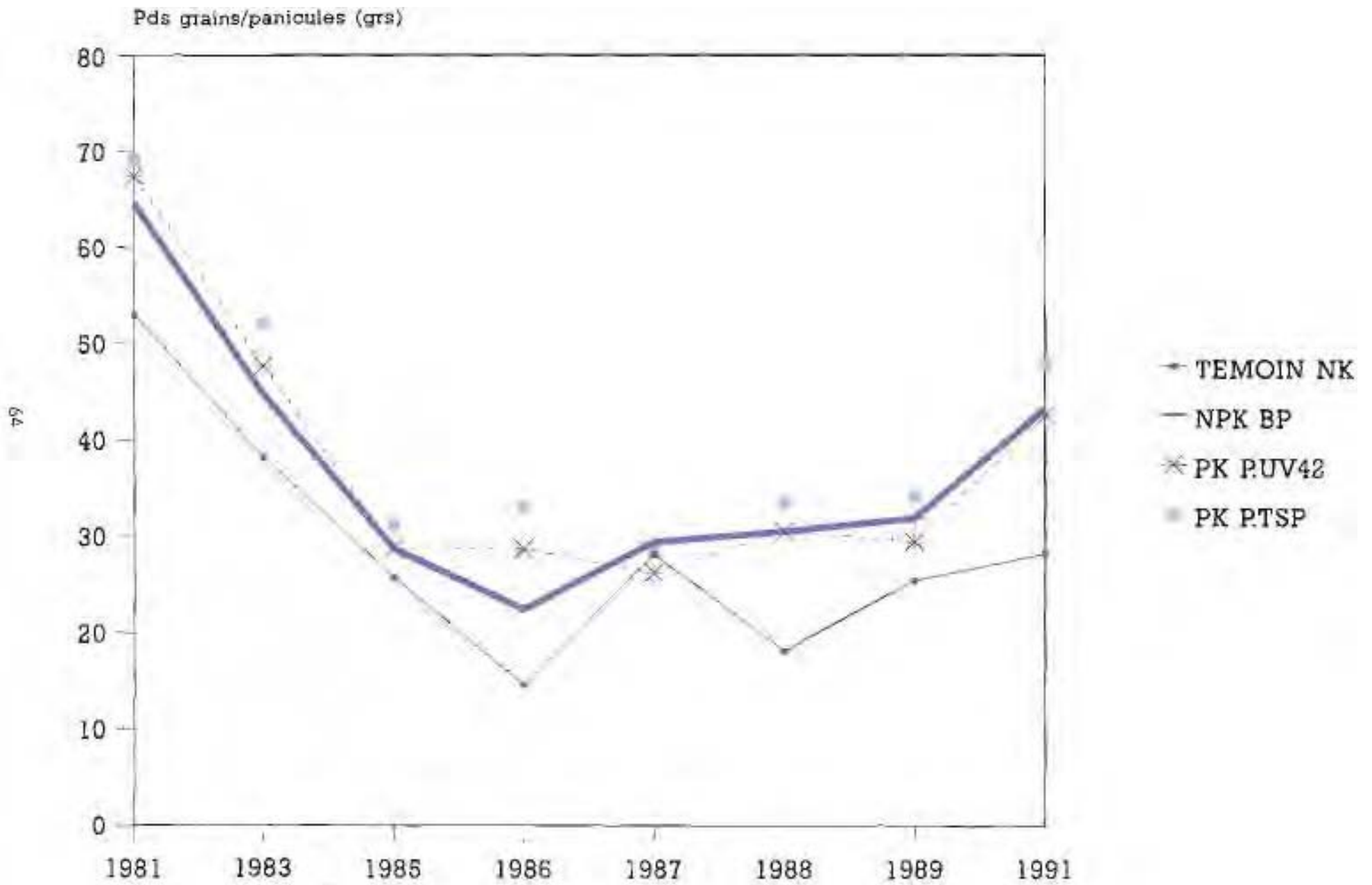


fig 3: Evolution poids grains/poids panicules de 1981 à 1991

Les augmentations de production suite à l'apport de phosphore à partir des phosphates naturels du Burkina Faso passent de 3 p.c. en 1981 à 52 et 102 p.c. en 1987 et 1991. Ainsi sur sorgho, l'augmentation moyenne du rendement est de 32 p.c.

L'acidification partielle des phosphates bruts du Burkina, permet d'améliorer leur efficacité. Ainsi, par rapport au témoin NK, on enregistre une augmentation moyenne de 37 p.c. Elle est passée de 5 p.c. en 1981 à 31 p.c. en 1987 et 101 p.c. en 1991. L'acidification partielle aura permis d'améliorer de 5 p.c. en moyenne les effets des phosphates naturels sur les rendements.

Le phosphate supertriple se confirme être la meilleure source de phosphore avec des augmentations de rendement par rapport au témoin NK de 17 p.c. en 1981 à 124 p.c. en 1991. Comparativement au TSP, l'efficacité relative moyenne passe de 87 p.c. pour les phosphates bruts, à 90 p.c., lorsque ces phosphates sont acidifiés à 50 p.c. par l'acide sulfurique.

b) Evolution des rendements de 1988 à 1991
(tableaux 9, 10 et fig 4 et 5)

• Effets directs de la dolomie (tableau 11)

Ils sont appréciés à partir des rendements de 1988.

L'apport de dolomie a permis de relever les rendements de tous les traitements. Globalement, l'effet dolomie est de + 54 p.c. sur les rendements grains, + 41 p.c. sur le poids de grains par panicule, et de + 36 p.c. sur les rendements pailles et production totale de matières sèches. Cet effet global de la dolomie cache des variations lorsqu'on le considère par traitement. Ainsi, par rapport au rendement grain, l'effet est plus important avec le témoin NK (+ 86 p.c.), puis avec TSP (+ 66 p.c.) et BP (+ 55 p.c.) et enfin + 22 p.c. sur UV 42. Le tableau 12 permet d'apprécier les augmentations de rendements dues à la dolomie, par rapport au témoin NK avec dolomie (indice

Tableau 9 : Evolution des rendements. Essai phosphates/Saria P8
1988-1991 (Effets et arrières effets de la dolomie)

	1988 Sorgho				1989 Sorgho				1990 Sorgho				1991 Sorgho				Moyenne			
	-Dolomie		+Dolomie		-Dolomie		+Dolomie		-Dolomie		+Dolomie		-Dolomie		+Dolomie		-Dolomie		+Dolomie	
	Grain	Pail- le	Grain	Pail- le	Grain	Pail- le	Grain	Pail- le	Grain	Pail- le	Grain	Pail- le	Grain	Pail- le	Grain	Pail- le	Grain	Pail- le	Grain	Pail- le
témoin NK	761	3330	1415	4530	1093	3453	1358	3755	682	1929	881	2379	977	2984	1485	4051	878	2924	1285	3429
Phosphates naturels (BP)	1438	4352	2236	6061	1350	3804	1628	3964	1055	2604	1376	2958	1974	4225	2070	5006	1454	3746	1828	4497
Phosphates partiellement solubilisé (UV42)	1420	4263	1738	5713	1458	4495	1842	4803	1055	2508	1222	2747	1961	4006	2051	4969	1473	3818	1713	4558
Phosphate supertriple (TSP)	1642	4996	2730	6708	1497	4101	2045	4514	1370	2700	1590	2507	2186	4958	2758	6019	1674	4189	2281	4937

Tableau 10 : Essai phosphates/Saria P8.
Evolution de quelques composantes du rendement du sorgho
1988-1991 (effets et arrières effets de la dolomie)

	1988						1989						1990		1991						Moyenne						
	Rendement panicules kg/ha		Nbre panicules par ha		Pds grains /panicule grs		Rendement panicules kg/ha		Nbre panicules par ha		Pds grains /panicule grs		Rendement panicules kg/ha		Rendement panicules kg/ha		Nbre panicules par ha		Pds grains/ panicules grs		Rendement panicules kg/ha		Nbre panicules par ha		Pds grains/ panicules grs		
	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Témoin NK	1052	1827	41795	48032	18,2	29,5	1749	1939	42824	43724	25,5	31,1	1029	1292	1414	2025	34465	42567	28,3	34,9	1311	1771	39695	44774	24,0	31,8	
NPK P. tricalcique (BP)	1880	2475	46939	49383	30,6	45,3	1988	2147	42245	46296	32,0	36,2	1520	1960	2643	2739	45525	47068	43,4	44,0	2008	2330	44903	47582	37,7	41,8	
NPK P. UV42	1914	2182	46451	48354	30,6	35,9	2068	2222	49383	53241	29,5	34,6	1571	1721	2637	2714	46039	45653	42,6	44,9	2048	2210	47291	49083	34,2	38,5	
NPK P. TSP	2261	3125	48920	56327	33,6	48,5	2083	2225	43596	44753	34,3	45,7	1968	2215	2823	3540	45653	55247	47,9	49,9	2284	2776	46056	52109	38,6	48,0	

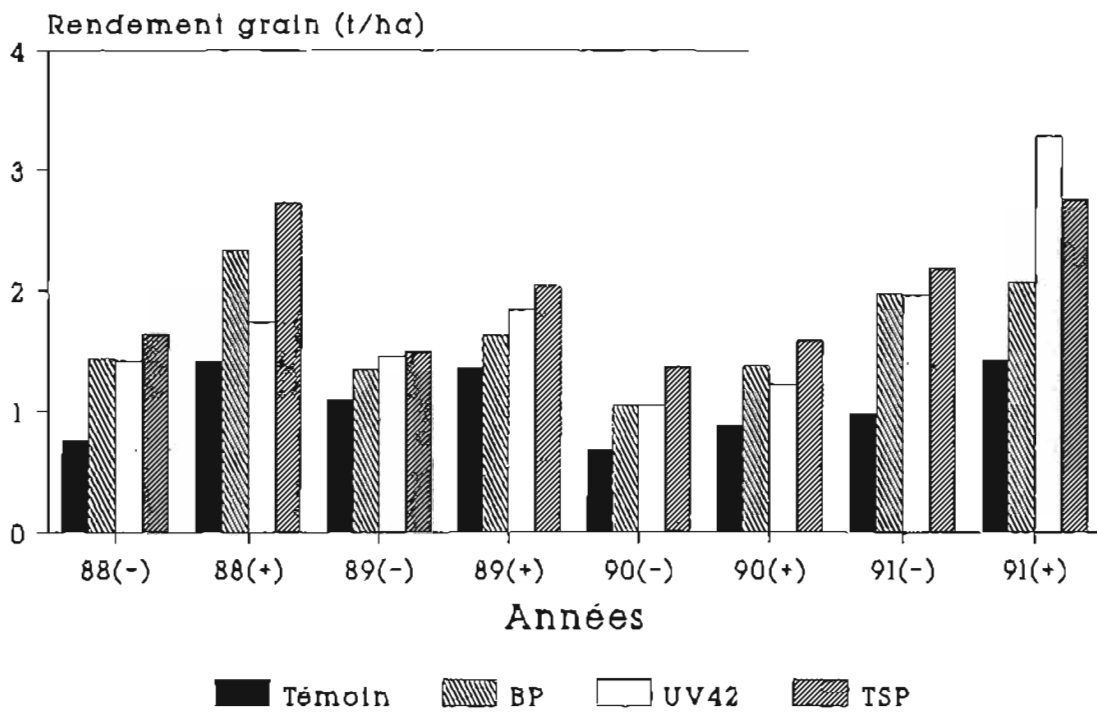


Fig 4 Essai phosphate/SARIA Effets et arrière effets de la Dolomie

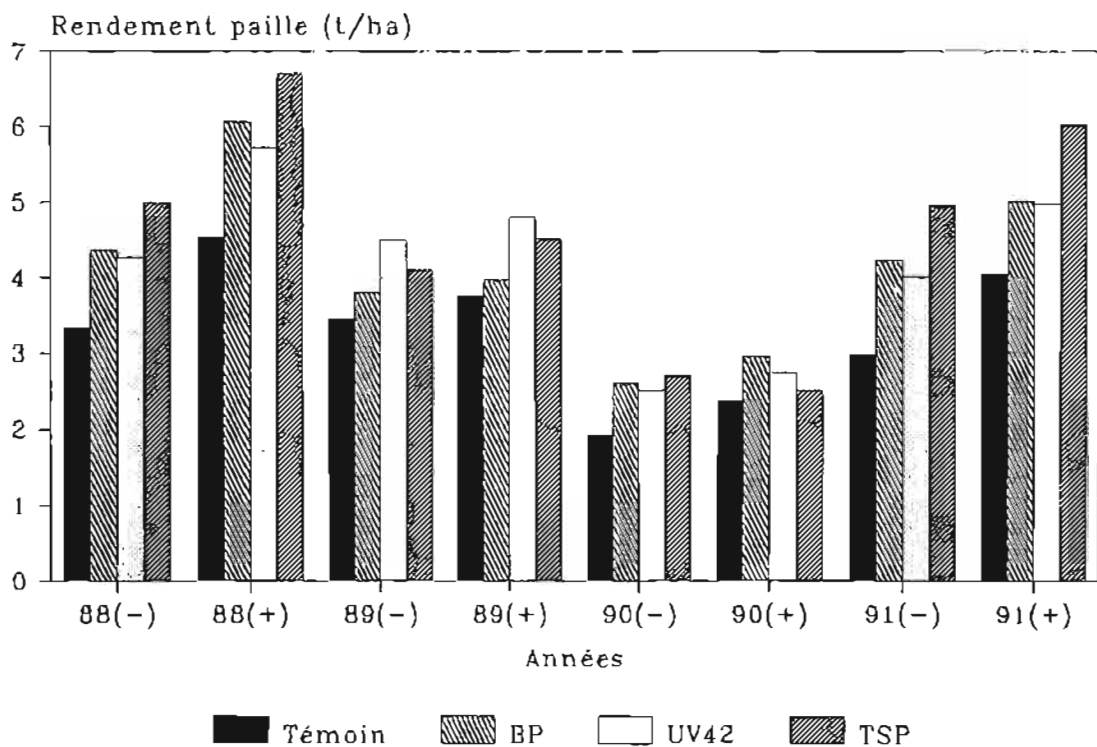


Fig 5 Essai phosphate/SARIA Effets et arrière effets de la Dolomie

Tableau 11 : Essai phosphates/Saria P8
Effets directs de la dolomie sur les rendements et quelques
composantes du rendement du sorgho (1988)

	Sans dolomie						Avec dolomie						Nbre panicules par ha		Poids grains/ panicules grs	
	Grains		Pailles		Production totale MS		Grains		Pailles		Production totale MS					
	kg/ha	indice	kg/ha	indice	kg/ha	indice	kg/ha	Indice	kg/ha	indice	kg/ha	indice	(-)	(+)	(-)	(+)
Témoin NK	761	100	3330	100	4382	100	1415	100	4530	100	6357	100	41795	48032	18,2	29,5
N P K (P = BP)	1438	189	4352	131	6232	142	2236	158	6061	134	8536	134	46939	49383	30,6	45,3
N P K (P = UV 42)	1420	187	4263	128	6177	141	1738	123	5713	126	7895	124	46451	48354	30,6	35,9
N P K (P = TSP)	1642	216	4996	150	7257	166	2730	193	6708	148	9833	155	48920	56327	33,6	48,5

(-) sans dolomie

(+) avec dolomie

Tableau 12 : Surplus de rendement obtenus suite à l'apport de dolomie (en kg/ha)

	Grains		Pailles		Production total matière sèche	
	kg/ha	Indice par rapport au Témoin NK	kg/ha	Indice par rapport au Témoin NK	kg/ha	Indice par rapport au Témoin NK
Témoin NK	654	100	1200	100	1975	100
NPK (P = PN)	798	122	1709	142	2304	117
NPK (P = UV 42)	318	49	1450	121	1718	87
NPK (P = TSP)	1088	166	1712	143	2576	130

100). Sur les grains, seul l'engrais UV42 en présence de dolomie n'a pas occasionné un surplus de rendement supérieur à celui obtenu avec le témoin NK, dans les mêmes conditions.

Par contre le phosphate supertriple et les phosphates naturels ont été mieux valorisés par l'apport de cet amendement calco-magnésien avec des surplus respectifs de + 66 p.c. et de + 22 p.c. par rapport au témoin N + dolomie.

Concernant les rendements pailles, les surplus de rendement obtenus sont notables pour toutes les sources de phosphore : + 42 et + 43 p.c. pour les phosphates naturels et les TSP et + 21 p.c. pour UV 42.

Les écarts entre les surplus provoqués par l'apport de dolomie sont plus faibles au niveau de la production totale de matières sèches, cela pour les phosphates naturels (+ 17 p.c.) et le TSP (+ 30 p.c.). L'effet dolomique sur UV 42 reste inférieur (-13 p.c.) à l'effet dolomique sur le témoin NK

• Arrières effets de la dolomie

- Une année après l'apport de dolomie (1989), l'arrière effet global reste positif (tableau 13) mais plus faible. Il est de + 27 p.c. sur les grains, + 22 p.c. sur le poids de grains par panicule et enfin + 7 et + 8 p.c. pour les pailles et la production totale de matière sèche. Une année donc après, l'effet chaulage est passé de + 54 p.c. à + 27 p.c. pour les rendements grains et de + 36 p.c. à + 7 p.c. pour les rendements pailles. Il y a donc eu, une baisse de l'effet de la dolomie de moitié sur la production de grains.

Le tableau 14 permet de mieux appréhender les arrières effets de la dolomie, en fonction des différents engrais phosphatés :

* l'arrière effet le plus important est obtenu avec le TSP, soit un surplus de rendement grain de 37 p.c. par rapport au TSP sans dolomie. Les arrières effets de la dolomie sur les autres traitements (NK, PN et UV 42) sont presque équivalents, (24, + 21 et + 26 p.c. respectivement). Le poids de grains par panicule semble être la composante de rendement qui explique le mieux ces arrières effets, qui du reste sont très faibles sur les rendements paille et la production totale de matière sèche ;

Tableau 13 : Essai phosphates/Saria P8
Arrière-effets de la dolomie sur les rendements et sur quelques composantes du rendement du sorgho (1989)

	Sans dolomie						Avec dolomie						Nbre panicules par ha		Poids grains par panicules grs	
	Grains		Pailles		Production totale MS		Grains		Pailles		Production totale MS					
	kg/ha	indice	kg/ha	indice	kg/ha	indice	kg/ha	Indice	kg/ha	indice	kg/ha	indice	(-)	(+)	(-)	(+)
Témoin NK	1093	100	3453	100	5202	100	1358	100	3755	100	5694	100	42824	43724	25,5	31,1
N P K (P = PN)	1350	124	3804	110	5792	111	1628	120	3964	106	6111	107	46296	46296	32,0	36,2
N P K (P = UV 42)	1458	133	4495	130	6563	126	1842	136	4803	128	7025	123	53241	53241	29,5	34,6
N P K (P = TSP)	1497	137	4101	119	6184	119	2045	151	4514	120	6739	118	44753	44753	34,3	45,7

(-) sans dolomie

(+) avec dolomie

Tableau 14 : Essai phosphates/Saria P8 : indices comparés de l'arrière effet de la dolomie (1989)

	Arrière effet de la dolomie par traitement (indice par rapport au traitement sans dolomie)					Indice par rapport au témoin NK + dolomie				
	Grains	Paille	Production total M.S	Nbre panicules par ha	Poids grain par panicule	Grains	Paille	production totale MS	Nbre panicules par ha	Poids grains/panicule
Témoin NK	124	109	109	102	122	100	100	100	100	100
N P K (P = PN)	121	104	106	110	113	120	106	107	106	116
N P K (P = UV 42)	126	107	107	108	117	136	128	123	122	111
N P K (P = TSP)	137	110	109	103	133	151	120	118	102	147

* en comparant les différentes sources de phosphore au témoin NK + dolomie, on se rend compte que le TSP a l'arrière effet le plus important (+ 51 p.c.) suivi de l'UV42 (+ 36 p.c.) et le PN (+ 20 p.c.). La même classification est observée avec le poids de grains par panicule.

Ainsi deux ans après l'apport de dolomie, l'interaction dolomie x engrais phosphatés est toujours positive et notable surtout avec TSP et UV 42.

- Les résultats de la deuxième année après le chaulage (1990) sont consignés sur le tableau 15 et représentés sur les figures 6a et 6b. L'arrière effet global de la dolomie est de + 22 p.c. contre + 27 p.c. en 1989, pour le rendement grain. Sur les pailles et la production totale de matières sèches, ces arrières effets sont plus faibles et respectivement de + 9 et + 12 p.c.

Les sources de phosphore entraînent un surplus de rendement de 70 p.c. sans dolomie et 58 p.c. en présence de dolomie. Sur les pailles ces surplus sont respectivement de 35 et 15 p.c. Deux ans après le chaulage, le témoin NK et le BP avec dolomie permettent d'avoir des surplus de rendement grain de 30 p.c. Ce surplus n'est que de 16 p.c. pour UV 42 et TSP, soit une baisse par rapport aux résultats de 1989 (tableau 16). Ces surplus sont plus faibles sur les pailles et la production totale de matière sèche.

Par rapport au témoin NK + dolomie, il y a une nette augmentation des indices. Ainsi, l'arrière effet dolomie sur apport annuel de TSP procure un surplus de 80 p.c., suivi de BP, 56 p.c. et 39 p.c. pour UV42.

Tableau 15 : Essai phosphates/Saría P8

Arrières effets de la dolomie sur les rendements du sorgho (1990)

	Sans dolomie						Avec dolomie					
	Grains		Pailles		Production totale MS		Grains		Pailles		Production totale MS	
	kg/ha	indice	kg/ha	indice	kg/ha	indice	kg/ha	Indice	kg/ha	indice	(-)	(+)
Témoin NK	682	100	1929	100	2958	100	881	100	2379	100	3671	100
N P K (P = PN)	1055	155	2604	135	4124	139	1376	156	2958	124	4918	134
N P K (P = UV 42)	1055	155	2508	130	4079	138	1222	139	2747	115	4468	122
N P K (P = TSP)	1370	209	2700	140	4668	158	1590	180	2507	105	4722	129

Tableau 16 : Essai phosphates/Saria P8 : indices comparés de l'arrière effet de la dolomie (1990)

	Arrière effet de la dolomie par traitement (indice par rapport au traitement sans dolomie)			Indice par rapport au témoin NK + dolomie		
	Grains	Pailles	Production totale MS	Grains	Pailles	Productio totale MS
Témoin NK	129	123	124	100	100	100
N P K (P = PN)	130	114	119	156	124	134
N P K (P = UV 42)	116	110	110	139	115	122
N P K (P = TSP)	116	093	101	180	105	129

- Trois ans après le chaulage (tableau 17 et figures 7a et 7b), l'arrière effet global de la dolomie n'est plus que de + 18 p.c. pour les grains, + 24 p.c. pour les pailles et + 21 p.c. pour la production totale de matière sèche. Il y a eu donc une baisse de l'effet de la dolomie.

L'effet global du phosphore (en arrière-effet dolomie) est de + 54 p.c. sur les grains + 32 p.c. sur les pailles, + 37 p.c. sur la production totale de matière sèche et + 33 p.c. sur le poids de grains par panicule. Le TSP reste la meilleure source de phosphore avec un surplus de rendement par rapport au témoin NK + dolomie de + 86 p.c. pour les grains, + 49 pour les pailles et + 57 p.c. pour la production totale de matière sèche.

Les phosphates naturels partiellement acidifiés (UV42) ou non (PN) sont équivalents avec des surplus de + 39 p.c. pour les grains, + 24 pour les pailles et + 27 pour la production totale de matière sèche. Les effets phosphore sur le poids de grains par panicule sont de + 46 p.c. TSP, + 29 p.c. pour UV 42 et + 26 p.c. pour PN.

Le tableau 18 compare les indices des arrières-effets de la dolomie d'une part pour le même traitement, et d'autre part en rapport avec le témoin NK + dolomie. Il en ressort que l'arrière-effet, en terme de rendements grains est très important sur le témoin NK (+ 52 p.c.), moyen avec TSP (+ 26 p.c.) et plus faible sur P.N et UV 42 (+ 5 p.c.).

En résumé et comme le montre l'évolution des surplus de rendement dus à l'apport de dolomie (tableau 19 et fig 8a, b et c), l'effet dolomie est fugace. Il est surtout important sur les traitements TSP et témoin.

Tableau 17 : Essai phosphates/Saria P8.

Arrière effets de la dolomie sur les rendements et quelques composantes du rendement du sorgho (1991)

	Sans dolomie						Avec dolomie						Nbre panicules par ha		Poids grains par panicules grs	
	Grains		Pailles		Production totale MS		Grains				Pailles Production s totale MS					
	kg/ha	indice	kg/ha	indice	kg/ha	indice	kg/ha	indice	kg/ha	indice	kg/ha	indice	(-)	(+)	(-)	(+)
Témoin NK	977	100	2984	100	4398	100	1485	100	4051	100	6076	100	34465	42567	28,3	34,9
N P K (P = PN)	1974	202	4225	142	6871	156	2070	139	5006	124	7745	127	45525	47068	43,4	44,0
N P K (P = UV 42)	1961	201	4006	134	6643	151	2051	138	4969	123	7683	125	46039	45653	42,6	44,9
N P K (P = TSP)	2186	224	4958	166	7781	177	2758	186	6019	149	9559	157	45653	55247	47,9	49,9

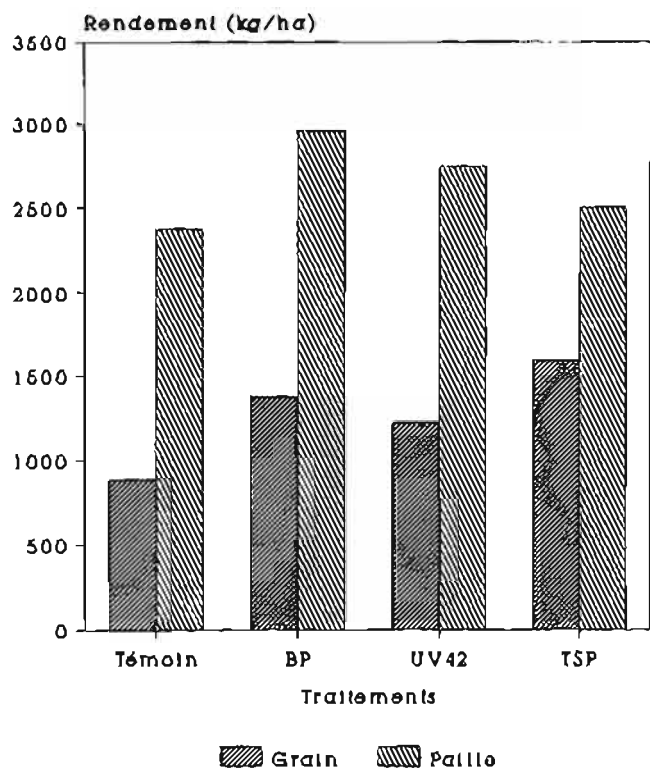


Fig.6a: Effets et arrière effets de Dolomie

Dolomie(-)(1990)

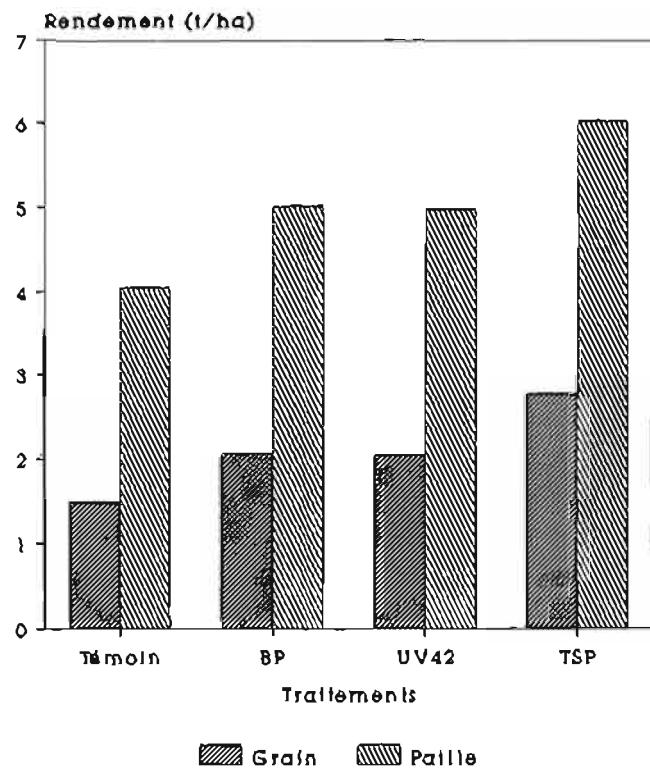


Fig.7a: Effets et arrière effets Dolomie dolomie(-) (1991)

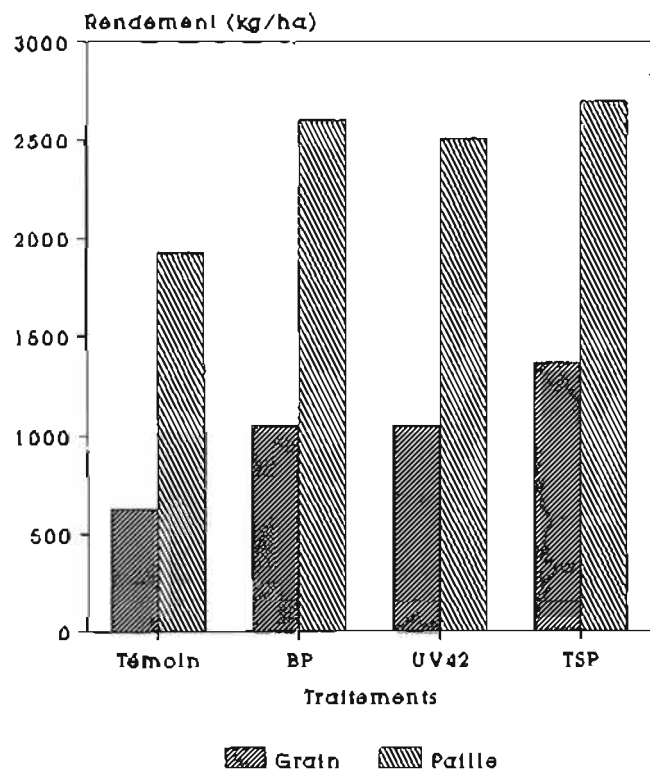


Fig.6b: Effets et arrière effets de Dolomie Dolomie(-)(1990)

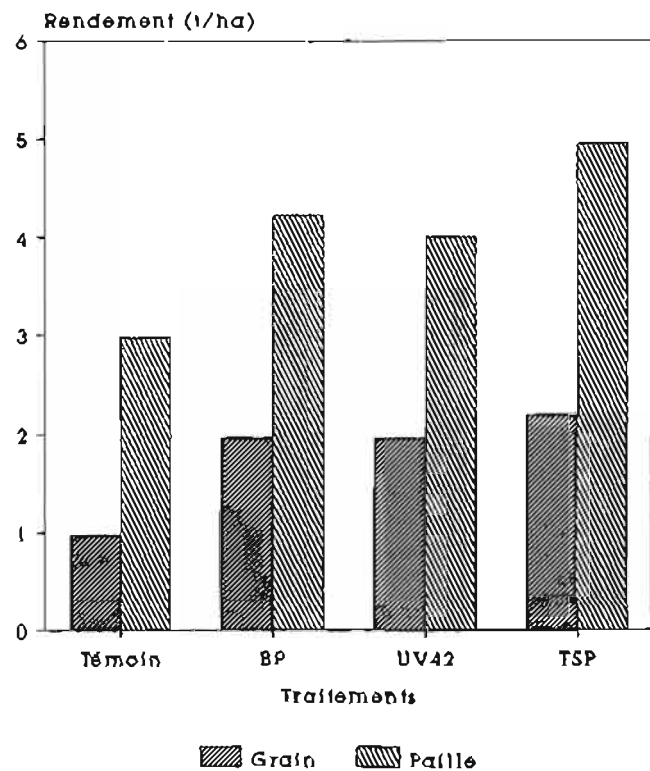


Fig.7b: Effets et arrière effets de Dolomie Dolomie(-)(1991)

Tableau 18 : Essai phosphates/Saria P8 : indices comparés de l'arrière effet de la dolomie (1991).

	Arrière effet de la dolomie par traitement (indice par rapport au traitement sans dolomie)					Indice par rapport au témoin NK + dolomie				
	Grains	Paille	Production total M.S	Nbre panicules par ha	Poids grain par panicule	Grains	Paille	production totale MS	Nbre panicules par ha	Poids grains/panicule
Témoin NK	152	136	138	124	123	100	100	100	100	100
N P K (P = PN)	105	118	113	103	101	139	124	127	111	126
N P K (P = UV 42)	105	124	116	99	105	138	123	126	107	129
N P K (P = TSP)	126	121	123	121	104	186	149	157	130	143

Tableau 19 : Evolution des surplus de rendement suite à l'apport de dolomie en kg/ha. Essai phosphates/Saria-P8.

Année		Témoin (NK)	NPK (P=PN)	NPK (P=UV42)	NPK (P=TSP)
1988	Grains	654	798	318	1088
	Paille	1200	1709	1450	1712
	PT	1975	2304	1718	2576
1989	Grains	265	278	384	548
	Paille	302	160	308	413
	PT	492	319	462	559
1990	Grains	199	321	167	220
	Paille	450	354	239	193
	PT	713	794	389	54
1991	Grains	508	96	90	572
	Paille	1067	781	963	1061
	PT	1678	874	1040	1778

Evolution des surplus de rdt suite à l'apport de Dolomie

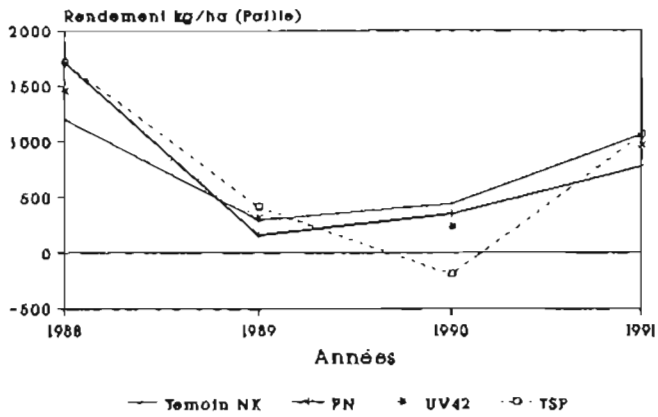


Fig 8a Evolution des surplus de rdt paille

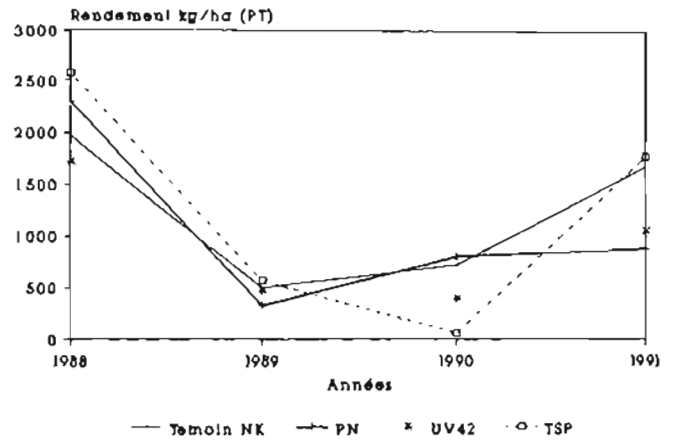


Fig 8b: Evolution des surplus de la production totale

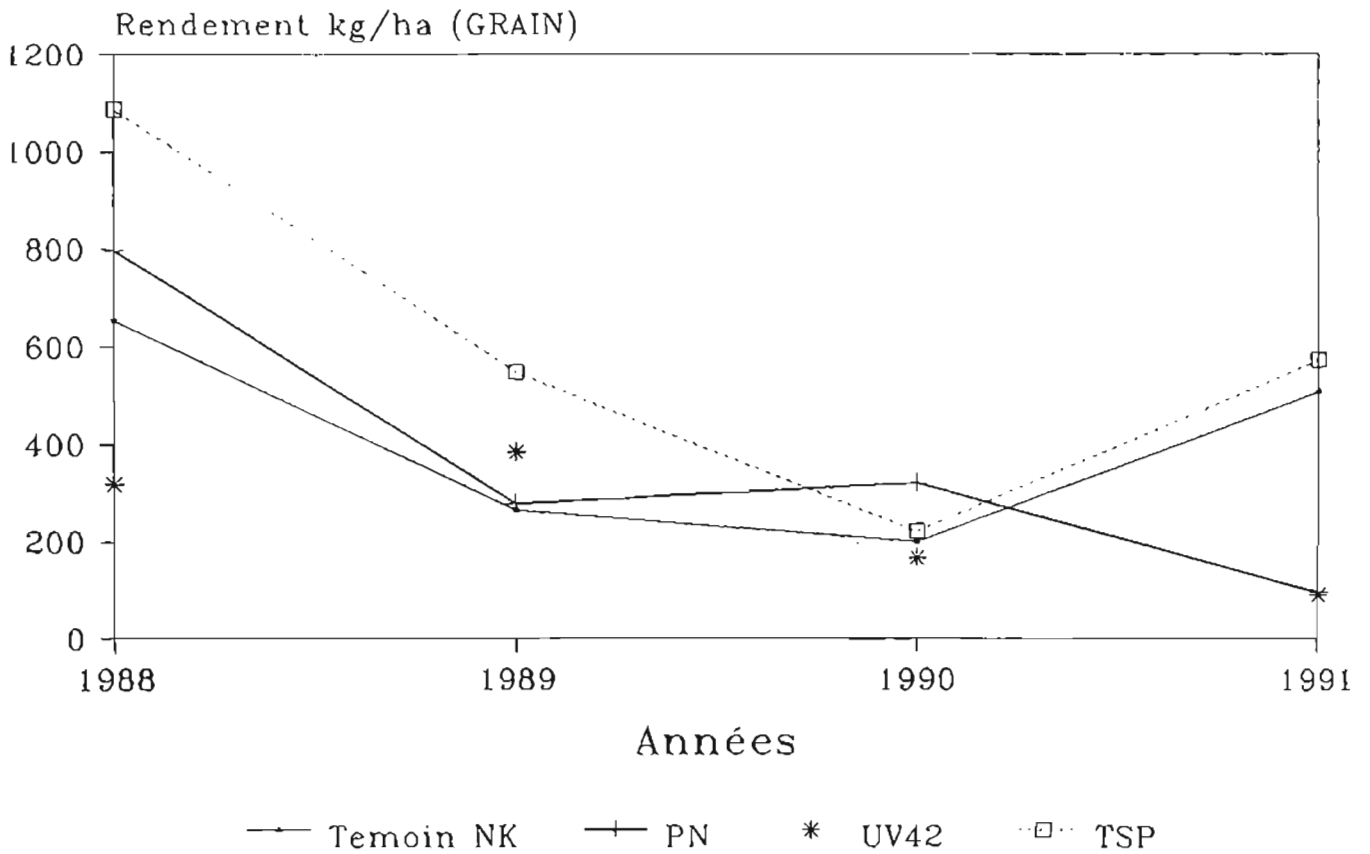


Fig 8c: Evolution des surplus de rdt grain

c) Conclusion

De l'examen de l'évolution des rendements obtenus dans cette étude il ressort :

- une baisse générale des rendements quel que soit le traitement. Elle est plus prononcée sur le témoin NK ;

- un effet sensible du phosphore sur l'augmentation des rendements du sorgho. Cet effet varie en fonction de la source de phosphore comme le montre si bien la figure 9. Ainsi durant toute la durée de l'expérimentation, le TSP s'est confirmé être la meilleure source de phosphore, suivi de l'UV42 dont la solubilité a été améliorée par acidification partielle des phosphates naturels qui constituent le troisième engrais phosphaté étudié.

Il est important de noter les faibles effets de tous ces engrais phosphatés pendant les cinq premières années de l'expérimentation et surtout l'effet l'efficacité progressive des phosphates naturels bruts perceptibles dès la deuxième année de l'expérimentation ;

- un effet direct de la dolomie très notable en présence du TSP, moyen avec les phosphates naturels et le témoin absolu, et plus faible avec UV42. Cet effet est fugace mais reste appréciable sur TSP et NK trois ans après son apport (fig 9).

Indice de rendement grain

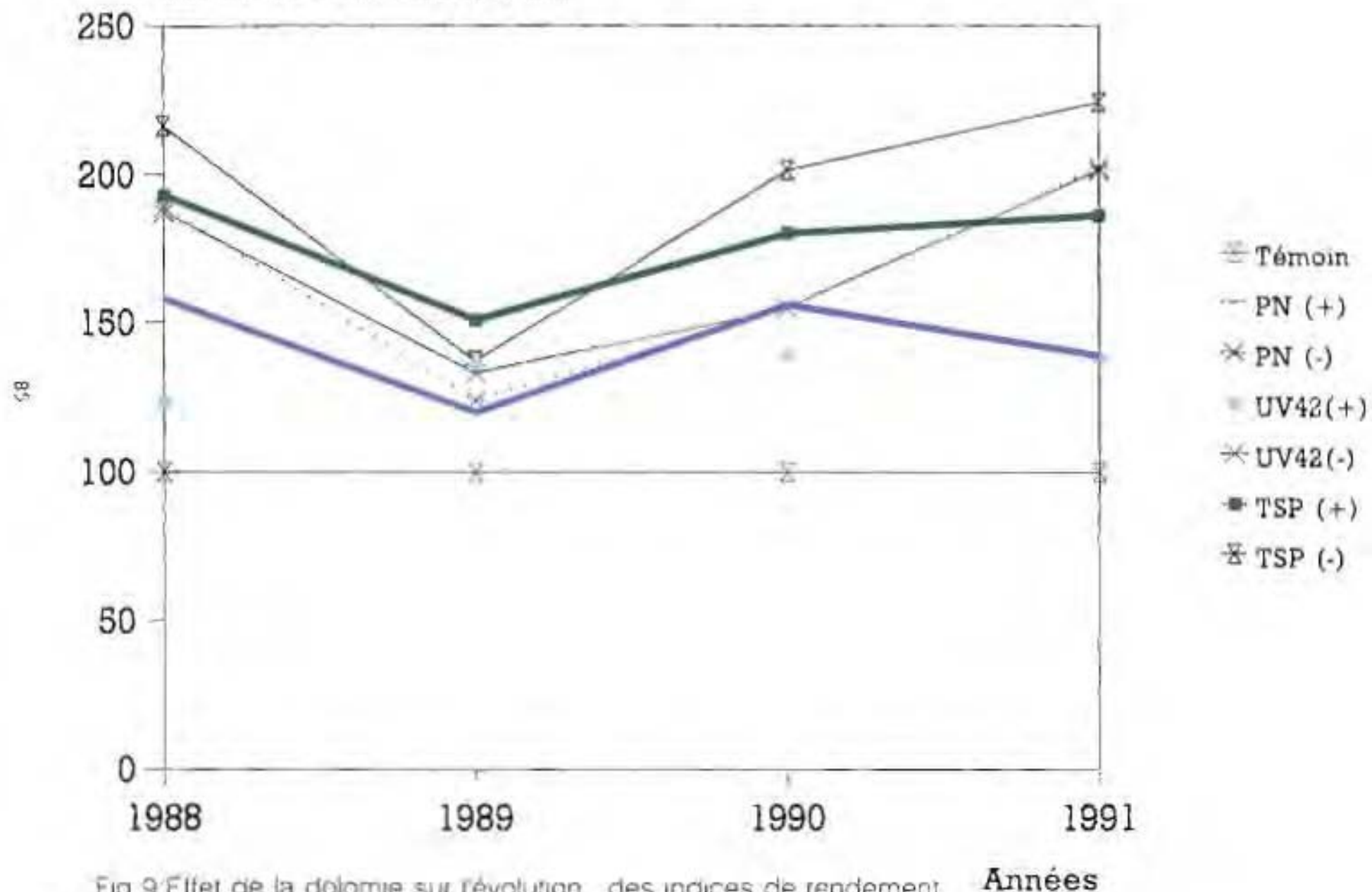


Fig 9: Effet de la dolomie sur l'évolution des indices de rendement
1988-1991

Années

4.1.2. Evolution de la productivité du kg de phosphore engrais

Les productivités du kg de phosphore sont variables d'une année à l'autre tant au niveau de la même source que lorsqu'on compare les différents engrais phosphatés (tableau 20). D'une manière générale, les plus fortes valeurs sont obtenues avec le phosphate supertriple, puis les phosphates partiellement solubilisés et enfin les phosphates naturels bruts. Les meilleures productivités semblent être obtenues les années à pluviométrie assez élevées (1983, 1986, 1988 et 1991). En comparant les productivités du kilogramme de phosphore provenant des phosphates naturels à celles provenant des deux autres sources, il apparaît une très nette amélioration de l'efficacité des phosphates naturels bruts à partir de la troisième année. En effet, par rapport au TSP, le rapport

$$\frac{\text{Productivité kg P-TSP}}{\text{Productivité kg P-PN}}$$

passé de 7 la première année à 5 la 2^e année et à 2 la 3^e année. Ce rapport est pratiquement égal à 1 à partir de la 6^e année, traduisant une égalité des productivités du kg de phosphore provenant du TSP ou des phosphates naturels.

Il y a donc une augmentation de la productivité du phosphore provenant des phosphates naturels au cours des années. Ce résultat s'explique par la solubilisation progressive de cet engrais phosphaté, mais également par des effets cumulés des apports annuels.

Tableau 20 : Evolution de la productivité du kg de phosphore (en kg grain/kg P₂O₅)

	Phosphates naturels du Burkina (PN)	Phosphates naturels partiellement solubilisés (UV42)	Phosphates supertriple (TSP)
1981	3,44	7,44	23,00
1982	2,84	17,64	14,76
1983	15,20	25,72	34,20
1984	8,48	9,12	16,50
1985	6,16	10,52	12,28
1986	17,84	24,76	35,48
1987	12,88	7,72	13,64
1988	26,84	26,36	35,24
1989	10,28	14,60	16,16
1990	14,92	14,92	27,52
1991	39,88	39,36	48,30

L'apport de dolomie (tableau 21) a des effets variables sur les productivités. Ainsi celles du TSP passent en moyenne de 31,80 (sans dolomie) à 39,84 kg grain/kg P₂O₅ ; avec un effet meilleur l'année d'apport de dolomie (17,36 kg grain/kg P₂O₅ de supplément). Par contre globalement, la dolomie a contribué à réduire les productivités du kilogramme de phosphore provenant des phosphates naturels bruts de 1,4 kg grain/kg P₂O₅ et surtout des phosphates naturels partiellement solubilisés (baisse de 6,67 kg grain/kg P₂O₅). Il faut cependant noter l'effet positif de la dolomie, l'année d'application et deux ans après, sur le traitement phosphates naturels.

Sur UV 42, l'effet n'est positif qu'un an après l'apport de dolomie.

Tableau 21 : Influence de la dolomie sur la productivité du kg de phosphore (en kg grain/kg P₂O₅)

	Phosphates naturels bruts (PN)	Phosphates naturels partiellement solubilisés (UV42)	Phosphates supertriple (TSP)
1988	32,84	12,92	52,60
1989	10,28	19,36	27,48
1990	19,80	13,64	28,36
1991	23,40	22,64	50,92

4.1.3. Bilans minéraux théoriques

L'établissement de bilans minéraux théoriques, malgré les insuffisances que cela présente (Pieri, 1985 ; DEAT et al., 1976 et BRAUD, 1987 cités par HIEN, 1990) est indispensable si l'on veut aboutir à un système agricole satisfaisant, stable et qui assure en même temps le maintien ou l'amélioration de la fertilité des sols cultivés (GRENNLAND, 1970 cité par PIERI, 1989). Pour ce faire, les normes empruntées à ARRIVETS (1974) et ROOSE (1981) et consignées dans les tableaux 22 et 23 ont été utilisées.

Seuls les bilans théoriques en phosphore et en calcium sont considérés dans ce mémoire.

a) Bilan théorique du phosphore (tableaux 24 à 27)

Ce bilan est négatif uniquement sur le témoin NK, ce qui traduit l'épuisement du sol en phosphore dans l'hypothèse d'une fumure n'apportant que l'azote et le potassium. Lorsque l'on considère l'évolution de ce bilan (tableau 26), l'on se rend compte que sur le témoin, il est fortement négatif les deux premières années, moyen les 3e et 4e années et plus réduit les années suivantes. L'apport de dolomie semble aggraver le statut en phosphore déjà déficient du témoin NK (tableau 27).

L'apport de phosphore, quelle que soit sa source, entraîne un bilan en phosphore positif. Les sources les moins solubles ont le bilan le plus élevé. Ainsi, le bilan sur le traitement avec apport annuel de phosphates naturels (PN) pendant 11 ans est de + 120 ; il est de + 115 lorsque l'apport annuel se fait à partir de phosphates naturels acidifiés à 50 p.c. (UV42) et enfin avec le phosphore supertriple (TSP), ce bilan est de +100. C'est donc dire que, plus la source utilisée est plus soluble, moins l'on enrichit le sol en phosphore.

Tableau 22 : Normes utilisées pour l'établissement des bilans minéraux théoriques : exportations minérales par les cultures (en kg/tonne de substance utile).

	Cotonnier	Sorgho	Arachide
N	32	34	51
P ₂ O ₅	14	7	9
K ₂ O	34	17	24
CaO	12	14	20
MgO	7	-	-

Sources : IRAT-Haute Volta (1980) pour le sorgho et l'arachide INERA-IRCT, rapport (1983/1984) pour le cotonnier.

Tableau 23 : Normes utilisées pour l'établissement des bilans minéraux théoriques (en kg/ha)

	N	P ₂ O ₅	CaO
<u>Apports</u> :			
Eau de pluie	5	2	18
Engrais minéraux	(selon les traitements)		
Engrais organique (fumier de Saria)	1,74	0,87	1,46
<u>Exportations</u>			
. pertes gazeuses de N (30% des apports minéraux)	selon les apport		
. Erosion-lixiviation	4	0,5	12

Sources : ROOSE (1981)

Tableau 24 : Bilans théoriques du phosphore sur l'essai phosphates/Saria P8 (1981-1987)

Traitements	Production totale grains kg/ha	Quantité de phosphore mobilisée (plantes) kg/ha (1)	Quantité de phosphore lixiviée kg/ha (2)	Quantité totale de phosphore exportée kg/ha (1)+(2)=(3)	Quantité de phosphore apportée par les engrais kg/ha (4)	Quantité de phosphore apportée par le fumier kg/aha (5)	Quantité de phosphore apportée par les eaux de pluie kg/ha (6)	Quantité totale de phosphore apportée kg/ha (4)+(5)+(6)=(7)	Bilan théorique de phosphore kg/ha (7)-(3)
Témoin NK	11637	105	7	112	0	0	14	14	- 98
NPK P. phosphates naturels	13368	120	7	127	175	0	14	189	+ 62
NPK P. UV 42	14210	130	7	137	175	0	14	189	+ 52
NPK P. TSP	15385	140	7	147	175	0	14	189	+ 42

Tableau 25 : Bilans théoriques du phosphore sur l'essai phosphates/Saria P8 (1988-1991)

Traitements		Production totale grains kg/ha	Quantité de phosphore mobilisée (plantes) kg/ha (1)	Quantité de phosphore lixiviée kg/ha (2)	Quantité totale de phosphore exportée kg/ha (1)+(2)=(3)	Quantité de phosphore apportée par les engrais kg/ha (4)	Quantité de phosphore apportée par le fumier kg/ha (5)	Quantité de phosphore apportée par les eaux de pluie kg/ha (6)	Quantité totale de phosphore apportée kg/ha (4)+(5)+(6)=(7)	Bilan théorique de phosphore kg/ha (7)-(3)
Témoin NK	-	3513	25	4	29	0	0	8	8	-21
	+	5139	36	4	40	0	0	8	8	-32
NPK P. Phosphates naturels	-	5817	40	4	44	100	0	8	108	+64
	+	7310	51	4	55	100	0	8	108	+53
NPK P. UV42	-	5894	41	4	45	100	0	8	108	+63
	+	6853	48	4	52	100	0	8	108	+56
NPK P. TSP	-	6695	46	4	50	100	0	8	108	+58
	+	9123	63	4	67	100	0	8	108	+41

Tableau 26 : Evolution des bilans du phosphore de l'essai phosphates/Saria P8 (en kg/ha 1981-1987).

Années	Témoïn N K		NPK P. Phosphates naturels		N P K P. UV42		N P K P. TSP	
	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)
1981	-23		+ 2		+ 1		- 4	
1982	-27		- 3		- 9		- 8	
1983	-15		+ 7		+ 5		+ 4	
1984	-19		+ 4		+ 3		+ 1	
1985	- 8		+16		+15		+15	
1986	- 3		+18		+17		+15	
1987	- 3		+19		+20		+19	

Tableau 27 : Evolution des bilans du phosphore de l'essai phosphates/Saria P8 (en kg/ha 1988-1991)

Années	Témoïn N K		NPK P. Phosphates naturels		N P K P. UV42		N P K P. TSP	
	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)
1988	-4	-9	+16	+10	+16	+14	+15	+ 7
1989	-7	-9	+17	+15	+16	+13	+16	+12
1990	-4	-5	+19	+16	+19	+17	+16	+15
1991	-6	-9	+12	+12	+12	+12	+11	+ 7

(-) sans dolomie (+) avec dolomie

b) Bilan théorique du calcium
(tableaux 28 à 31)

Sur une période de 11 ans, ce bilan est négatif sur le témoin NK (-150) et sur TSP (-141). Il est positif sur BP (+152) et sur UV42 (+61) (tableau 30). L'apport de dolomie a permis d'améliorer de façon très nette ce bilan : +357 avec le témoin NK, +447 avec BP, +429 avec UV42 et +338 avec TSP. Il faut cependant noter que sur les traitements qui avaient un bilan déficitaire avant l'apport de dolomie, (NK et TSP), l'effet favorable de celle-ci est fugace, puisqu'il disparaît dès la 2^e année après l'apport de dolomie (tableau 31).

c) conclusion

Ces résultats sur les bilans minéraux indiquent des bilans négatifs aussi bien pour le phosphore que pour le calcium sur le traitement NK. Il y a donc un important déséquilibre minéral sur ce traitement. L'apport de dolomie a aggravé le phénomène au niveau du phosphore, tandis que le bilan du calcium a été amélioré, mais uniquement l'année de l'apport de dolomie. Les engrais phosphatés expérimentés ont tous amélioré le bilan en phosphore du sol, surtout lorsqu'il s'agit de phosphates à solubilité faible ou moyenne (P.N et UV 42). Concernant le calcium, seuls BP et UV 42, ont permis d'avoir un bilan positif; pour le témoin NK et TSP, le bilan est négatif et l'apport de dolomie ne l'a amélioré que l'année de son application.

Tableau 28 : Bilans théoriques du calcium sur l'essai phosphates/Saria P8 (1981-1987)

Traitements	Production totale grains kg/ha	Quantité de calcium mobilisée (plantes) kg/ha (1)	Quantité de calcium lixiviée kg/ha (2)	Quantité totale de calcium exportée kg/ha (1)+(2)=(3)	Quantité de calcium apportée par les engrais kg/ha (4)	Quantité de calcium apportée par le fumier kg/aha (5)	Quantité de calcium apportée par les eaux de pluie kg/ha (6)	Quantité totale de calcium apportée kg/ha (4)+(5)+(6)=(7)	Bilan théorique de calcium kg/ha (7)-(3)
Témoin NK	11637	156	84	240	0	0	126	126	-114
NPK P. phosphates naturels bruts	13368	178	84	262	210	0	126	336	+ 74
NPK P. UV 42	14210	190	84	274	168	0	126	294	+ 20
NPK P. TSP	15385	109	84	293	63	0	126	189	-104

Tableau 29 : Bilans théoriques du calcium sur l'essai phosphates/Saria P8 (1988-1991).

Traitements		Production totale grains kg/ha	Quantité de calcium mobilisée (plantes) kg/ha (1)	Quantité de calcium lixiviée kg/ha (2)	Quantité totale de calcium exportée kg/ha (1)+(2)=(3)	Quantité de calcium apportée par les engrais kg/ha (4)	Quantité de calcium apportée par le fumier kg/ha (5)	Quantité de calcium apportée par les eaux de pluie kg/ha (6)	Quantité totale de calcium apportée kg/ha (4)+(5)+(6) =(7)	Bilan théorique de calcium kg/ha (7)-(3)
Témoin NK	-	3513	50	48	98	0	0	72	72	- 26
	+	5139	72	48	120	405	0	72	477	+357
NPK P. tricalcique	-	5817	82	48	130	120	0	72	192	+ 62
	+	7310	102	48	150	525	0	72	597	+447
NPK P. UV42	-	5894	82	48	130	96	0	72	168	+ 38
	+	6853	96	48	144	501	0	72	573	+429
NPK P. TSP	-	6695	94	48	142	36	0	72	108	- 34
	+	9123	128	48	176	441	0	72	513	+337

(-) sans dolomie

(+) avec dolomie

Tableau 30 : Evolution des bilans en calcium de l'essai phosphates/Saria-P8 en kg/ha (1981-1987).

Années	Témoin NK	NPK P. Tricalcique	NPK P. UV 42	NPK P. TSP
1981	-42	-13	-20	-41
1982	-18	+11	0	-14
1983	-26	- 1	-11	-29
1984	-11	+17	+11	- 7
1985	-11	+16	+ 9	-10
1986	- 3	+21	+12	- 7
1987	- 3	+23	+22	+ 1

Tableau 31 : Evolution des bilans en calcium de l'essai phosphates/Saria-P8 en kg/ha (1988-1990).

Années	Témoin NK		NPK P. Tricalcique		NPK P. UV 42		NPK P. TSP	
	-	+	-	+	-	+	-	+
1988	- 5	+391	+16	+410	+10	+411	- 8	+382
1989	- 9	- 13	+17	+ 13	+10	+ 4	- 6	- 14
1990	- 4	- 6	+21	+ 17	+15	+ 13	- 4	- 6
1991	-18	- 15	+ 8	+ 7	+ 3	+ 1	-16	- 24

(-) sans dolomie

(+) avec dolomie

4.1.4. Evolution des caractéristiques du sol **(tableaux 32 et 33)**

Les résultats d'analyses concernent les prélèvements de sol avant la mise en culture (1981), avant le chaulage (1987), et après (1989 et 1991) le chaulage. Il est important de signaler que les méthodes d'analyses surtout en ce qui concerne le phosphore ont varié. Ainsi en 1981, la méthode OLSEN DABIN a été utilisée pour la détermination du phosphore assimilable ; en 1989 et 1991, le laboratoire a utilisé la méthode Bray I. Il y a donc des limites dans les comparaisons de l'évolution de statut phosphaté du sol avant la mise en culture et l'effet des différents traitements huit et 11 ans après.

a) Evolution de la matière organique du sol **(carbone et azote total)**

Le taux de carbone est passé de 0,82 p.c. avant la mise en culture à 0,34 p.c. en 1989 et à 0,25 p.c. en 1991 sur le témoin NK. Soit des baisses de 59 p.c. et 70 p.c., respectivement après 9 et 11 années de mise en culture. Ainsi donc on constate une baisse moyenne annuelle du taux de carbone de 6,4 p.c. Avec les apports annuels d'engrais phosphatés, le carbone est passé à 0,38 p.c. en 1989 et à 0,29 p.c. en 1991, soit une baisse moyenne annuelle de 5,9 p.c. Le TSP semble réduire légèrement les baisses (5,5 p.c. en moyenne par an).

L'apport de dolomie a des effets divers sur le carbone du sol. Ainsi sur le témoin NK, que ce soit un ou trois ans après le chaulage, les taux de carbone sont plus élevés que sur les parcelles sans dolomie.

Tableau 32 : Essai phosphates Saria/P8. Caractéristiques chimiques du sol (1989)

	pH eau		C Total p.c.		N Total en p. mille		Phosphore en ppm				Bases échangeables meq/100g				CEC	
							P. total		P. assimilable		Ca		Mg			
	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
Témoin NK	5,0	5,3	0,34	0,35	0,23	0,38	180	191	1,31	1,23	1,14	1,96	0,29	0,45	5,54	6,42
NPK P. phosphates naturels bruts	5,2	5,6	0,35	0,37	0,24	0,36	217	227	1,97	1,68	1,80	2,38	0,25	0,44	7,05	7,57
NPK (UV42)	5,2	5,6	0,37	0,32	0,37	0,37	242	216	1,69	1,70	2,55	3,10	0,25	0,44	7,24	6,82
NPK (TSP)	5,3	5,8	0,42	0,37	0,28	0,41	204	208	2,26	1,83	1,54	2,78	0,35	0,49	6,66	7,06
Sol départ 1981	5,5															

- : sans dolomie

+ : apport de dolomie

Tableau 33 : Essai phosphates naturels Saria/P8. Caractéristiques chimiques du sol (1991)

	pH eau		C Total p.c.		N Total p. mille		Phosphore en ppm				Bases échangeables meq/100g				CEC	
							P. total		P. assimilable		Ca		Mg			
	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
Témoin NK	5,2	5,6	0,25	0,31	0,13	0,15	176	206	1,30	0,72	1,69	2,48	0,33	0,56	4,44	5,36
NPK phosphates naturels bruts	5,3	5,9	0,26	0,30	0,12	0,16	222	224	2,00	0,86	1,62	2,52	0,24	0,51	5,28	5,36
NPK (UV42)	5,4	5,6	0,28	0,26	0,17	0,17	241	228	1,70	0,82	2,45	2,91	0,35	0,57	6,79	7,19
NPK (TSP)	5,5	6,2	0,32	0,36	0,13	0,27	211	224	1,75	1,03	1,83	2,11	0,40	0,86	8,37	7,31

- : sans dolomie

+ : apport de dolomie

Par contre sur les traitements avec phosphates, l'effet dolomie est fonction de la source de phosphore. Un an après le chaulage, il n'y a pas d'effet net des sources de phosphore par rapport au témoin NK + dolomie. Le carbone sur le traitement UV 42 est même plus faible. Les taux de carbone du sol sont équivalents sur les traitements BP et TSP. Trois ans après le chaulage, les taux ont baissé par rapport au témoin NK + dolomie et seul TSP permet d'avoir un taux de carbone (0,36 p.c.) supérieur à celui dudit témoin NK + dolomie (0,31 p.c.).

Comme pour le carbone, les teneurs en azote total ont baissé par rapport au sol de départ (0,7 p.c.). Sur le témoin NK, la baisse est de 67 p.c. en 8 ans et de 81 p.c. en 11 ans. Les apports d'engrais phosphatés n'ont pas amélioré de façon notable la situation puisque les teneurs en N total sont passées à 0,30 p.c. en 1989 et à 0,14 p.c. en 1991. La dolomie de Tiara semble avoir freiné les baisses. Ainsi sur NK en 1989, les teneurs en N total sont de 0,38 p.c. et de 0,15 p.c. en 1991, elle est plus élevée (0,2 p.c.). Le TSP semble être la source qui permet d'obtenir un niveau, relativement plus élevé, d'azote total dans le sol.

b) Evolution du phosphore du sol

Comme souligné plus haut, l'accent sera mis sur les comparaisons entre les différents traitements plutôt qu'une comparaison des évolutions.

▪ Le phosphore total

Les engrais phosphatés ont amélioré les teneurs en phosphore total du sol. Les phosphates naturels bruts (BP) ou améliorés (UV 42) entraînent des augmentations relativement plus importantes que celles enregistrées avec le phosphate soluble (TSP). Deux et quatre années après l'apport de dolomie, les teneurs semblent avoir augmentées sur tous les traitements à l'exception de celui avec UV42.

▪ Le phosphore assimilable

Il y a un enrichissement du pool de phosphore assimilable du sol suite à l'apport d'engrais phosphatés, notamment avec le TSP. L'apport de dolomie a eu pour effet de diminuer le phosphore assimilable du sol. Deux ans après le chaulage, la baisse était plus importante sur les traitements TSP et BP. Quatre ans après le phénomène semble plus important sur tous les traitements, en particulier sur BP et dans une moindre mesure sur UV 42 et TSP.

c) Evolution des bases échangeables (Ca, Mg) et de la CEC

- Au niveau des bases, le calcium a été le plus affecté par les apports engrais phosphatés, surtout BP et UV42. L'enrichissement est plus faible avec TSP. L'apport de dolomie a eu pour conséquence une augmentation relativement importante des teneurs en calcium du sol surtout sur les traitements avec engrais phosphatés. En 1989, l'augmentation est plus sensible sur TSP et NK (soit respectivement + 1,24 et + 0,82 meq/100g) que sur BP et UV42 (+ 0,58 et + 0,55 meq/100g).

En 1991, les augmentations sont plus faibles avec les phosphates plus ou moins solubles (TSP et UV42). On note, cette année une amélioration du statut du calcium du sol sur BP.

Le taux de magnésium a connu une augmentation suite à l'apport de dolomie. Cette augmentation semble être fonction du temps puisqu'elle est plus importante en 1991 (en moyenne + 0,17 méq/100g) qu'en 1992 (en moyenne + 0,30 meq/100).

- Les engrais phosphatés ont amélioré la CEC du sol. Elle est passée de 5,54 meq/100g sur NK à 6,98 meq/100g en présence d'engrais phosphatés. Les effets les plus importants sont obtenus avec BP (7,05 meq/100g) et UV42 (7,24 meq/100g). Il faut cependant relever que la CEC baisse avec la durée de la mise en culture. L'apport de dolomie a eu pour conséquence l'augmentation de la CEC sur tous les traitements, en particulier sur le témoin NK.

d) Evolution du pH

Après 7 ans de culture, le pH est passé de 5,5 en 1981 à 5,00 (1987) sur le témoin absolu, à 5,2 sur le traitement TSP. Deux ans après l'apport de dolomie on observe des pH relativement plus élevés par rapport aux traitements sans dolomie. Ainsi, observe-t-on une différence de 0,1 unité en apportant le phosphore. Quatre ans après cet apport, la différenciation des traitements par rapport au pH est plus net. UV42 et NK enregistrent les plus faibles augmentations (0,2 et 0,4 unité respectivement), BP et TSP ont des augmentations respectives de 0,6 et 0,7 unité.

e) Conclusion

De l'analyse de l'évolution des caractéristiques chimiques du sol il ressort :

- une baisse moyenne annuelle du taux de carbone de 6,4 p.c. sur le témoin NK ; l'apport de phosphore (toutes les sources confondues) ralentit la baisse qui passe alors à 5,9 p.c. en moyenne par an. Sur le traitement phosphates naturels bruts la baisse est de 6,2 p.c./an. L'apport de dolomie a entraîné, trois ans après, une légère augmentation du taux de carbone (de 0,28 p.c. à 0,30 p.c.). La baisse moyenne annuelle passe de 6,0 p.c. (sans apport de dolomie) à 5,8 p.c. lorsque la dolomie est apportée (trois ans plus tôt) ;

- une augmentation des teneurs en phosphore assimilable suite à la fertilisation phosphatée, en particulier avec le TSP. La dolomie réduit cette teneur ;

- une augmentation de la CEC et des bases échangeables suite aux apports d'engrais phosphatés et de la dolomie ;

- une baisse généralisée du pH, surtout sur le témoin.
La dolomie permet de relever le pH.

4.2. DISCUSSIONS - CONCLUSIONS

Cette expérimentation a permis d'aborder les problèmes de la fertilisation phosphatée et de l'utilisation de la dolomie de TIARA dans le contexte global de l'amélioration de la productivité des sols, entendue dans le sens de fertilité des sols (HETIER ET GUIRAUD, 1986, cités par SEDOGO, 1993). La question a été abordée sous les aspects évolution des productions et effets sur certaines caractéristiques chimiques du sol.

Du point de vue de la production, il se dégage une baisse générale des rendements. Cette baisse est plus importante sur le témoin NK et intervient dès la 4^e année de culture. Comme l'avaient observé PIERI (1989) en zone semi-aride, SEDOGO (1981 et 1993) et HIEN (1990) dans différentes situations agropédologiques du Burkina, cette baisse qui intervient inéluctablement après toute mise en culture trouve son origine dans l'appauvrissement du sol. Cet appauvrissement provient de la baisse du carbone du sol et des bases échangeables, entraînant une acidification et apparition d'aluminium échangeable dans le sol, lequel est toxique pour les plantes et peut provoquer une nutrition déficiente des plantes en phosphore et en calcium.

Les analyses de sol ont effectivement montré une baisse du taux de carbone du sol de l'ordre de 6,4 pour cent par an sur le témoin NK et 5,9 p.c. par an, suite aux apports de phosphore. Ces valeurs sont largement au-dessus de celles trouvées par SEDOGO (1981 et 1993) et HIEN (1990) et qui sont respectivement de 2 et 4 p.c. par an. Cette différence résultent du fait que l'apport d'azote dans notre situation à contribuer à accélérer le processus de minéralisation de la matière organique et donc à réduire le taux de carbone. Ce que confirment d'ailleurs des travaux antérieurs dont ceux de SEDOGO (1981). Outre l'accentuation de la minéralisation, l'apport d'azote peut entraîner un appauvrissement du sol en calcium et magnésium. En

ce qui concerne le calcium, le bilan négatif obtenu après onze années de culture, illustre bien ce fait et confirme les travaux de SEMENT (1983) et HIEN (1990) qui ont mis en évidence l'accentuation des pertes de Ca et Mg suite aux apports d'engrais azotés.

Les variations inter et intra-annuelles de la pluviosité ont également une part dans cette baisse de la production car, comme le souligne PIERI (1984), bien que la fertilisation permette de tamponner les effets climatiques tels les stress hydriques et les températures élevées, il existe des effets pervers des engrais en cas d'alimentation hydrique insuffisante des cultures.

Cette baisse générale des rendements est atténuée par les apports d'engrais phosphatés qui ont amélioré le statut phosphaté, la CEC et les bases échangeables. Ainsi observe-t-on un bilan positif du phosphore sur tous les traitements apportant du phosphore, en particulier avec les phosphates naturels acidifiés ou non. Ce sont donc les sources de phosphore les moins solubles qui enrichissent le sol en phosphore.

Le bilan en calcium est positif uniquement avec les phosphates naturels acidifiés ou non. La fertilisation phosphatée à partir du TSP, dans les conditions de cette étude, entraîne un bilan négatif en calcium. Cette situation s'explique par la faible teneur en calcium du TSP (16 p.c. CaO) et par des exportations élevées de calcium liées aux rendements élevés obtenus avec cet engrais.

Le TSP s'est confirmé durant toute la durée de l'expérimentation, être la meilleure source de phosphore pour les plantes ; les phosphates naturels bruts ont une efficacité inférieure mais qui croît avec le temps. Cette différence de comportement est liée aux caractéristiques physico-chimiques des phosphates naturels qui sont des phosphates durs, contenant des éléments pénalisant (Al, et Fe) en quantités assez élevées, et dont la teneur en phosphore soluble à l'eau est très faible. En outre les rapports F/P_2O_5 , $(Fe_2O_3 + Al_2O_3)/P_2O_5$ et $Fe_2O_3 + Al_2O_3/P_2O_5$, contribuent à en faire une source de phosphore de moindre qualité

comparativement aux autres phosphates naturels de l'Afrique de l'Ouest (TRUONG et al., 1978 ; PICHOT et al., 1979 ; SEDOGO et al., 1983 ; ROY and Mc CLELLAN, 1986 ; Mc CLELLAN and NOTHOLT, 1986 ; BATIONO et al., 1987 ; PAUL, 1988 ; TRUONG, 1989). Ces phosphates ont cependant une certaine efficacité agronomique, mais lente et progressive (DUPON (de) DINECHIN, 1967 ; BIKIENGA, 1980 ; SEDODO et al., 1983 ; SEDOGO et al., 1992). En définitive, l'efficacité des phosphates naturels d'une façon générale dépend de deux groupes de facteurs (TRUONG, 1989 ; BATIONO et al., 1991) : ceux liés aux caractéristiques intrinsèques des phosphates naturels (minéralogie, cristallographie, composition chimique, finesse du broyage ; dilution isotopique et du phosphore dans la solution du sol...) et ceux dépendant du milieu (types de sol, humidité, acidité, types de spéculations, concentration du calcium et du phosphore dans la solution...).

L'étude du comportement du sol ferrugineux tropical lessivé de SARIA, vis-à-vis de trois sources de phosphore a aussi montré que l'acidification partielle des phosphates naturelles avec de l'acide sulfurique a un effet très limité sinon insignifiant sur l'amélioration à long terme de l'efficacité de ces phosphates. Ce résultat rejoint les études en laboratoire et en serre faites par HAMMON et al. (1989), cités par BATIONO et al. (1991) et qui font état d'une efficacité agronomique de 49 p.c. du phosphate de Kodjari partiellement acidifié avec l'acide sulfurique, relativement au TSP. Par contre il s'agit là d'un résultat qui semble contradictoire à ceux obtenus par BIKIENGA (1982) ; SEDOGO et al. (1983) ; TRUONG, (1984) ; LOMPO et SEDOGO (1986) ; et HIEN et al. (1992) qui ont montré un intérêt agronomique de l'acidification partielle des phosphates naturels de Kodjari. Cette contradiction est en réalité apparente dans la mesure où comme l'ont montré SAMAKE (1987) et PAUL (1988) l'efficacité des attaques acides partielles des phosphates naturels dépend des facteurs suivants : le type de minerai, la nature des acides utilisés, le degré de l'attaque partielle et le type de sol. Ainsi selon PAUL (1988), les types d'attaque à privilégier dans le cas des phosphates naturels de Kodjari sont les attaques mixtes ($H_2SO_4 + H_3PO_2$) ou complexes ($H_2SO_4 + MAP$) mais avec de faibles quantités de H_2SO_4 pour éviter la formation d'une gangue

(CaSO₄) pouvant s'opposer à une mise à la disposition rapide de la plante, du phosphore dont elle a besoin.

Il faut enfin signaler que dans cette étude du comportement du sol de SARIA vis-à-vis de plusieurs engrais phosphatés, l'engrais UV42 utilisé, provient de stocks conservés parfois pendant plusieurs années. Ce stockage peut entraîner la formation de composés insolubles dans l'eau tels P-Fe et P-Al et par conséquent baisser la performance des engrais (QUIN, 1982, cité par PAUL, 1988 ; BATIONO et al., 1991). Ce phénomène a joué un rôle important dans la performance de UV42, au regard des teneurs élevées en oxydes de fer et d'aluminium des phosphates naturels de Kodjari.

Les engrais phosphatés ont amélioré certaines caractéristiques du sol. Ainsi le calcium, la CEC et le phosphore total sont-ils améliorés surtout avec UV42 ; le phosphore assimilable l'est également avec TSP et les phosphates naturels. Le pH par contre ne semble pas avoir été affecté de façon notable.

Ces résultats confirment ceux obtenus par SEDOGO et al. (1983) et TRUONG (1989). Les premiers ont montré que les phosphates naturels avaient un effet notable sur le phosphore total, le phosphore assimilable et le calcium surtout à forte dose, dite de correction, (500 kg/ha). Ces Observations ont été faites après quatre ans de culture en rotation cotonnier-sorgho et arachide-mil. Le second auteur a surtout suivi le devenir du calcium des phosphates naturels et a conclu en la participation importante de ce calcium à la nutrition des plantes, mais aussi à l'enrichissement du sol en calcium, qu'atteste d'ailleurs le bilan largement positif observé avec les phosphates naturels de Kodjari. L'effet faible, sinon inexistant, des phosphates naturels sur le pH a également été relaté par différents auteurs dont SEDOGO et al. (1988), qui, à la recherche d'amendements pour un sol ferrugineux lessivé très acide de SARIA, ont montré la nette efficacité du fumier, de la chaux agricole et de la dolomie de TIARA, dans l'élimination de l'aluminium échangeable et l'élévation du pH, comparativement aux phosphates naturels.

La méthode utilisée pour l'appréciation du phosphore assimilable (BRAY 1) si elle est performante avec les engrais phosphatés reconnus solubles, pose des problèmes dans le cas des phosphates naturels bruts comme l'ont montré BATIONO et al. (1991), dans une étude comparative de cinq méthodes d'analyses en vue d'établir des niveaux de phosphore acceptables à partir d'échantillons de sols fertilisés avec différentes sources de phosphore dont le TSP et deux phosphates naturels du Niger partiellement solubilisés ou non.

Pour PICHOT et ROCHE (1972), la méthode "OLSEN-DABIN" semble satisfaisante pour un grand nombre de sols tropicaux. Pour beaucoup d'autres auteurs, dont FARDEAU et JAPPE (1980), la notion de phosphore assimilable est liée à "la qualité des transferts entre phase solide et phase liquide" et implique de ce fait un paramètre "cinétique". Aussi PICHOT et al. (1979) proposent-ils l'utilisation des méthodes chimique (OLSEN-DABIN) et isotopique (VALEUR L) pour d'une part apprécier le phosphore dit assimilable et d'autre part déterminer le phosphore isotopiquement dilué.

L'apport de dolomie a eu un effet favorable sur la production et très appréciable sur les traitements TSP, PN et NK. L'effet est fugace sur PN et UV42, mais se maintient sur les autres traitements. VELLY et ROCHE (1974) attribuent cette fugacité de l'arrière action de la dolomie (4 à 5 ans) aux pertes par lessivage. Par contre sur le même type de sol, mais très acide, l'utilisation de la chaux agricole a permis une remontée et une stabilité des rendements pendant plus de 8 ans (SEDOGO, 1993).

L'effet du chaulage sur la solubilisation des phosphates naturels d'Afrique de l'Ouest et sur leur efficacité a fait l'objet d'une étude en milieu contrôlé par PICHOT et al. (1982). Ils ont ainsi montré qu'à pH 4,6 les phosphates naturels de Kodjari participent au phosphore assimilable, au phosphore isotopiquement dilué et à la nutrition phosphatée de la plante test. A pH 5,5, les effets sont très limités, et disparaissent à pH 6,5.

Dans notre étude, la dolomie a permis d'augmenter le taux de carbone du sol, augmentation qui s'explique par une meilleure croissance du système racinaire (MURRMANN et PEECH, 1969 ; AMARRISIRI et OLSEN, 1982 ; cités par EDMEADES et al. (1990) qui après une revue bibliographique sur la question, a conclu que le chaulage peut accroître ou réduire le phosphore disponible du sol, selon les circonstances. Selon EDMEADES et al. (1990), l'apport de dolomie n'augmente généralement pas la disponibilité du phosphore du sol. Deux types d'effets sont à différencier :

- la chaux peut affecter la disponibilité du phosphore du sol en modifiant l'absorption du phosphore, en solubilisant le phosphore minéral et en minéralisant le phosphore organique ;

- elle peut influencer sur la capacité de la plante à absorber le phosphore disponible du sol et des engrais. Elle peut enfin contribuer à accélérer la minéralisation de l'azote organique et rendre plus disponible des oligo-éléments tels le molybdène (Mo).

Les phosphates naturels de Kodjari présentent un intérêt certain pour les plantes en tant que source de phosphore et de calcium et également pour le sol, dans la mesure où ils améliorent le bilan en phosphore et en calcium. Ils peuvent à la

limite être considérés comme un amendement calcique au même titre que la dolomie, dont les doses d'apport, et la granulométrie restent à préciser en fonction des types de sols. Les effets de cette dolomie sur les équilibres ioniques et sur la disponibilité d'autres éléments nutritifs des plantes sont à étudier.

La modélisation des apports de phosphore en fonction du phosphore du sol et du rendement escompté est à envisager. Enfin, les travaux en cours sur la solubilisation partielle des phosphates naturels à partir d'attaques mixtes ou complexes devraient aboutir à l'installation, dans les zones de forte consommation de fertilisants, de petites unités de production d'engrais à partir des phosphates naturels partiellement solubilisés.

CHAPITRE V. ETUDE DE L'AMELIORATION DE LA SOLUBILITE DES PHOSPHATES NATURELS DU BURKINA FASO : ACTION DE LA MATIERE ORGANIQUE

INTRODUCTION

Le comportement des sols ferrugineux tropicaux lessivés de Saria et les résultats antérieurs des travaux de recherches sur les phosphates naturels ont fait ressortir les intérêts agronomiques et macro-économiques de leur utilisation dans le contexte de l'agriculture burkinabè. Cependant, l'efficacité de ces phosphates peut être améliorée :

- en les utilisant dans des sols acides et dans des conditions d'humidité non limitantes ;

- en utilisant certaines techniques culturales telles leur enfouissement par un labour, l'association avec de la matière organique etc. ;

- et par acidification partielle.

L'effet des matières organiques sur la solubilisation des phosphates naturels a fait l'objet d'études dont les plus récentes sont celles de FROSSARD (1985) ; BADO (1985) ; MORANT (1985) ; SAMAKE (1987) ; LOMPO (1989) ; BONZI (1989) ; GARAPIN (1989).

Ces études ont montré l'effet positif des substrats organiques sur l'amélioration de l'efficacité des sources de phosphore, en particulier les phosphates naturels. Cependant, presque toutes ces études ont été réalisées soit en laboratoire, soit en vases de végétation.

Ce chapitre expose les résultats obtenus sur l'association phosphates naturels-matières organiques, à partir de deux types d'expérimentation :

- des études en milieux contrôlés qui ont permis d'une part de produire des matières organiques à partir du compostage de mélanges de résidus cultureux et de phosphates naturels et d'autre part de tester leur valeur agronomique à partir de tests d'incubation et d'essais en vases de végétations ;

- une expérimentation au champ, réalisée à Saria sur sol ferrugineux tropical lessivé, en vue d'étudier les effets de l'association des phosphates naturels et du fumier sur les rendements et sur certaines caractéristiques du sol.

5.1. ETUDES EN MILIEUX CONTROLES

Ces expérimentations ont été réalisées avec pour objectif principal la production et l'évaluation agronomique de substrats organiques obtenus par compostage de résidus cultureux (paille de sorgho et de maïs) en association avec les phosphates naturels de KODJARI. Les composts ainsi obtenus sont caractérisés d'un point de vue chimique, puis évalués à travers des méthodes biologiques dont les tests d'incubation et les vases de végétations.

5.1.1. Résultats

5.1.1.1. Effets des doses de phosphates naturels (PN) sur le compostage aérobie des pailles de sorgho

Les composts ont été produits à partir de litière provenant de l'étable de la Station de Saria, et en présence de 20, 40, 80 et 100 kg de phosphates naturels par tonne de litière compostée.

- Les caractéristiques chimiques des composts aérobies

Le tableau 34 présente les caractéristiques chimiques des composts aérobies de pailles de sorgho obtenus après six mois de compostage.

- Les éléments minéraux

Le compostage de la litière en présence de phosphates naturels a entraîné une baisse des teneurs en éléments minéraux des composts. Cette baisse semble d'autant plus importante que la dose de phosphates naturels est plus importante. Ces baisses concernent principalement Mg et K. Les teneurs en Ca sont plus élevées surtout avec les composts ayant reçu de fortes doses de phosphates naturels.

- Le phosphore total et le phosphore soluble dans l'eau

Les teneurs en phosphore total des composts ont été améliorées de façon sensible par l'apport de phosphates naturels. Cette amélioration est d'autant plus importante que la quantité de phosphore apportée est plus élevée.

Cependant, la proportion du phosphore total, soluble à l'eau ne varie presque pas. Ce résultat confirme ceux obtenus par SAMAKE (1987) et qui concerne la solubilisation des phosphates naturels de TILEMSI par compostage.

Tableau 34 : Caractéristiques chimiques des composts aérobie de paille de sorgho

	pH eau	C total p.c.	N total p.c.	C/N	P total p.c.	P soluble eau p.c.	K p.c.	Ca p.c.	Mg p.c.
Compost 1	8,65	28,34	1,44	20	0,26	0,015	0,51	0,27	0,63
Compost 2	9,13	23,30	1,21	19	1,13	0,017	0,30	0,24	0,39
Compost 3	8,92	20,81	0,98	21	1,85	0,018	0,22	0,31	0,31
Compost 4	9,15	17,74	0,90	20	2,68	0,015	0,16	0,33	0,26
Compost 5	8,57	15,57	0,88	18	3,18	0,018	0,19	0,57	0,25
Litière	7,50	41,33	0,91	45	0,11	-	0,79	0,15	0,07

Compost 1 : litière seule compostée

Compost 2 : (litière + 20 kg p.n/t litière) compostée

Compost 3 -''- + 40 kg " -''-) -''-

Compost 4 -''- + 80 kg " -''-) -''-

Compost 5 -''- + 100 kg " -''-) -''-

▪ Le carbone et le rapport C/N

Les composts obtenus avec les plus fortes doses de phosphore ont les teneurs en carbone les plus faibles. D'une façon générale, le compostage de litière en présence de phosphates naturels tricalciques a entraîné une baisse de leur taux de carbone. Cette baisse est en rapport avec les pertes de matières sèches en cours de compostage.

Le rapport C/N des substrats organiques est un critère en évolution continue. Si l'on se réfère aux normes suisses (Michel, 1987) qui considèrent qu'un compost est mûr lorsque son C/N est inférieur à 19, seul le compost 5, obtenu avec la plus forte dose de phosphates naturels (100 kg P.N.), peut être qualifié de mûr. D'autres auteurs, DUCHAUFFOUR (1965), DOMMARGUES et MANGENOT (1970), cités par SEDOGO (1981) considèrent qu'un substrat organique à C/N supérieur à 25 subit une minéralisation lente et peut entraîner une immobilisation temporaire de l'azote du sol.

▪ Le pH

Le pH des composts est élevé, conséquence du calcium des phosphates naturels. La libération de cations telles que Ca^{2+} , Mg^{2+} et K^+ des matières organiques est aussi à l'origine du pH élevé des composts.

• La valeur agronomique des composts aérobie

Au cours d'un premier travail (LOMPO, 1989), la valeur agronomique des composts associés aux phosphates naturels (phosphocomposts) a été appréciée à travers l'évolution du phosphore assimilable et du pH de différents types de sol (ferrugineux, vertiques et ferrallitiques), auxquels ces composts ont été incorporés, ainsi qu'à travers leurs effets sur la

production de matières sèches et le phosphore exporté par le mil. Grâce à des tests d'incubation et à des tests en vases de végétation, il a été montré de façon générale que :

- l'évolution du phosphore assimilable laisse apparaître des pics variables selon le type de sol et le type de substrat organique (phosphocomposts). Le phosphore assimilable est libéré très tôt (à partir du 5^e jour) au cours de l'incubation. Le pH augmente au cours de l'incubation ;

- la production de matière sèche et la quantité de phosphore exportée par le mil sont améliorées en présence de phosphocomposts, sur tous les sols à l'exception du sol vertique, qui a un fort pouvoir fixateur vis à vis du phosphore.

5.1.1.2. Etude de la finition des composts anaérobies des pailles de sorgho en présence de phosphates naturels

La fermentation anaérobie de la litière permet d'obtenir plus de gaz et conséquemment un niveau de préhumification du substrat organique résiduel plus poussé, que ce qui a été observé avec la méthode classique de production de biogaz (SEDOGO et LOMPO, 1989). Ce sont ces composts résiduels qui ont subi un compostage complémentaire (finition), en aérobie en présence de produits locaux (cendres, dolomie, phosphates naturels) susceptibles d'améliorer la valeur fertilisante de ces composts.

• Les caractéristiques chimiques des composts anaérobies

Les paramètres retenus concernent le pH, l'azote total et le phosphore total et sont résumés dans le tableau 35.

Tableau 35 : Quelques caractéristiques de composts anaérobies après six mois de finition

	pH eau	N total p.c.	P total p.c.
Composts anaérobies seuls (C. ANAE)	6,9	1,96	0,25
Composts anaérobies + urée (C. ANAE/N)	6,4	1,99	0,23
Composts anaérobies + P.N' (C. ANAE/P)	6,9	1,49	0,92
Composts anaérobies + cendres (C. ANAE/C)	7,2	1,86	0,29
Composts anaérobies + urée + P.N (C. ANAE/NP)	6,6	1,77	0,61
Composts anaérobies + dolomie (C. ANAE/D)	7,2	1,89	0,29
Composts anaérobies + P.N + cendres (C. ANAE/PC)	7,9	1,69	0,63
Composts anaérobies + urée + P.N + cendres + dolomie (C. ANAE/NPCD)	7,0	1,85	0,76
Litière	7,5	0,91	0,11
Compost anaérobie (sortie de cuve)	7,5	1,40	0,92
Jus de fermentation	7,9	0,06g/l jus	0,44g/l jus

* P.N. = phosphates naturels de Kodjari

Il y a un enrichissement des composts en azote suite à la finition. Ceux finis en présence d'urée ou de cendres ou de tous les produits d'adjonction sont les plus riches en azote.

A l'exception des apports de phosphates naturels, les teneurs en phosphore n'ont pas varié beaucoup avec les autres traitements.

Le pH a baissé au cours de la finition à l'exception des composts obtenus avec les cendres.

La finition et l'enrichissement des composts anaérobies à partir des produits tels la dolomie, les cendres, les phosphates naturels et les produits minéraux d'importation (azote) permettent d'obtenir des matières organiques d'une valeur fertilisante proche de celle du fumier, considéré comme substrat organique de référence (SEDOGO, 1981).

- Valeur agronomique des composts anaérobies

- Test d'incubation

- a) Evolution du phosphore assimilable

Les données figurent en annexes 4a et 4b.

- Sur le sol ferrugineux tropical (fig.10a) on distingue trois phases :

- * une première phase d'une durée de trois semaines caractérisée par une baisse du P assimilable ;
- * une deuxième phase pendant laquelle les teneurs du sol en phosphore assimilable remontent. La durée de cette phase dépend des composts en présence ;
- * enfin une dernière phase au cours de laquelle les teneurs baissent à nouveau.

Cette évolution du phosphore assimilable est dépendante de la nature du compost utilisé. Ainsi distingue-t-on quatre groupes:

- Les composts anaérobies frais (C. ANAE) et le témoin dont les teneurs sont et demeurent les plus faibles durant toute l'expérience ; elles varient de 6,58 et 4,01 ppm P, la première semaine à 3,8 et 2,40 ppm en fin d'expérience.

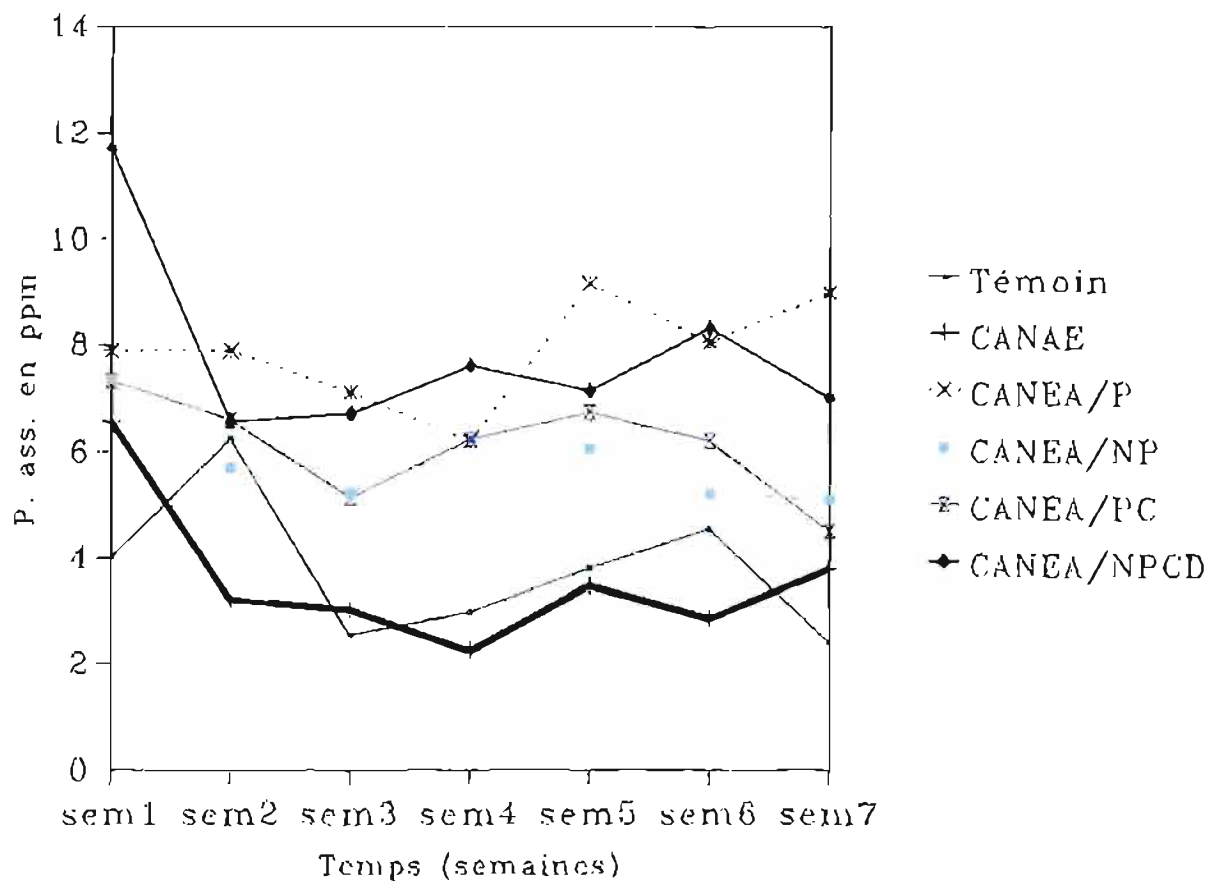


Fig.10 a: Evolution du phosphore assimilable/sol ferrugineux sans azote

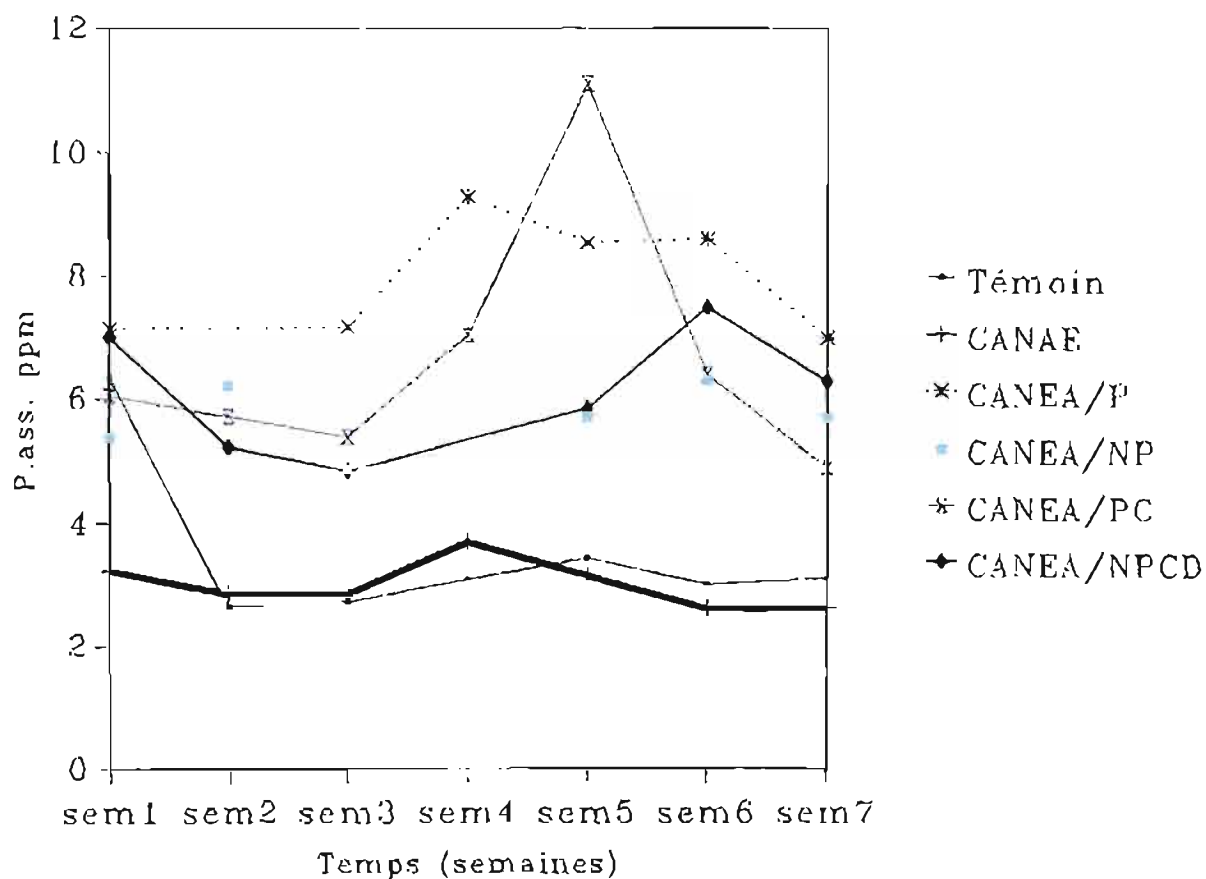


Fig.10b: Evolution du phosphore assimilable/sol ferrugineux avec azote

- Les composts anaérobies finis en présence de phosphates naturels et/ou d'urée et de cendres dont les teneurs à la fin de l'expérience sont de 5,10 ppm P pour C. ANAE/NP et 4,5 ppm P pour C. ANAE/PC.

- Les composts dont la maturation a été faite en présence d'urée, de phosphates naturels, de cendres et de dolomie (C. ANAE/NPCD) ont des valeurs, plus élevées en début d'expérience (11,73 ppm) mais elles passent au bout de sept semaines à 7 ppm P.

- enfin les composts finis en présence de phosphates naturels (C. ANAE/P) avec des teneurs finales de 9 ppm.

L'apport d'azote (fig. 10b) semble favoriser la différenciation entre les traitements. Ainsi en début d'expérience C. ANAE se différencie des traitements avec composts et le témoin avec 3,22 ppm P.

En fin d'expérience il y a deux groupes de traitements d'une part C. ANAE et le témoin avec respectivement 2,60 et 3,10 ppm P et d'autre part les autres composts dont les teneurs varient entre 4,9 et 7 ppm.

• Le comportement des composts anaérobies finis est différent sur sol ferrallitique (fig 11a). La différence réside au niveau de la première phase caractérisée dans ce cas par une augmentation des teneurs de phosphore assimilable. L'amplitude de cette augmentation est variable : elle est faible pour le témoin et C. ANAE, élevée pour C.ANAE/P et moyenne pour les autres substrats.

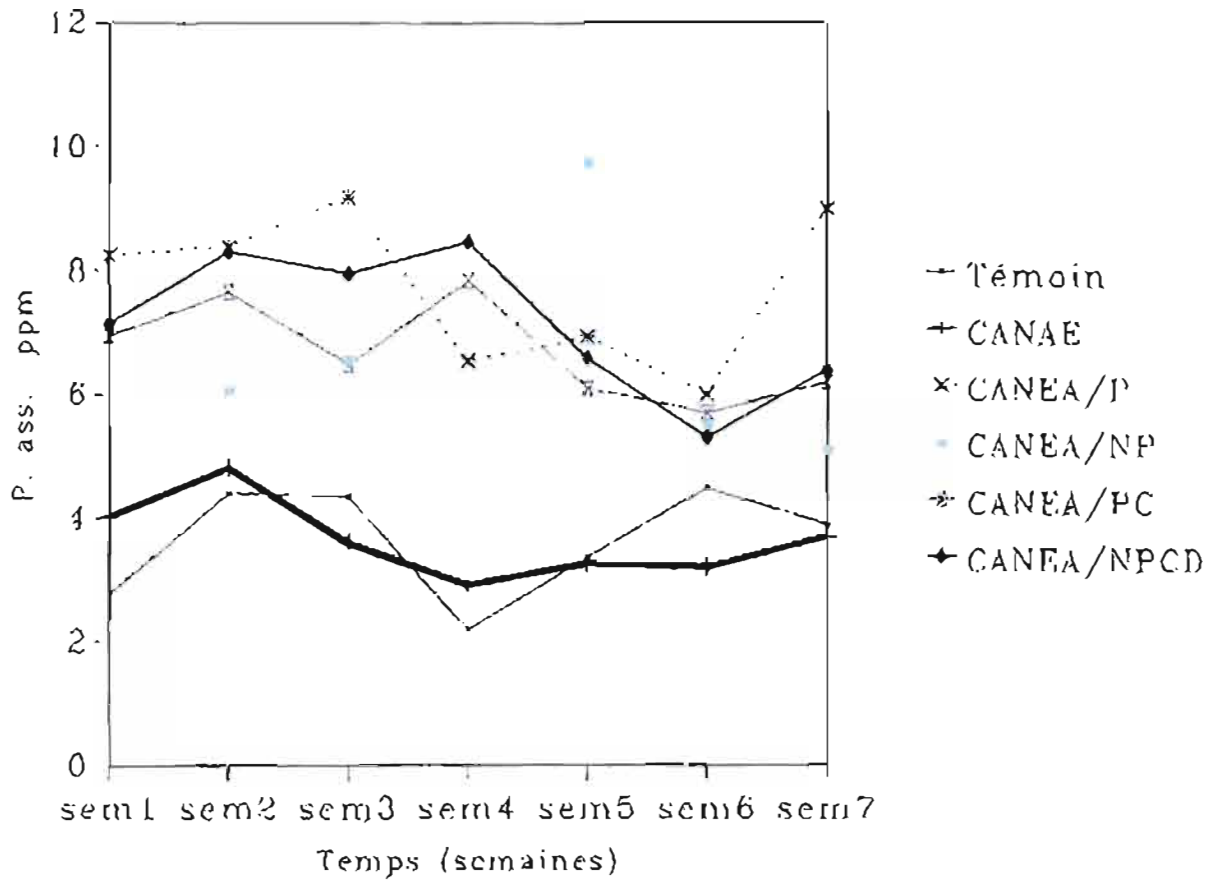


Fig.11a: Evolution du P.assimilable/sol Ferrallitique

sans azote

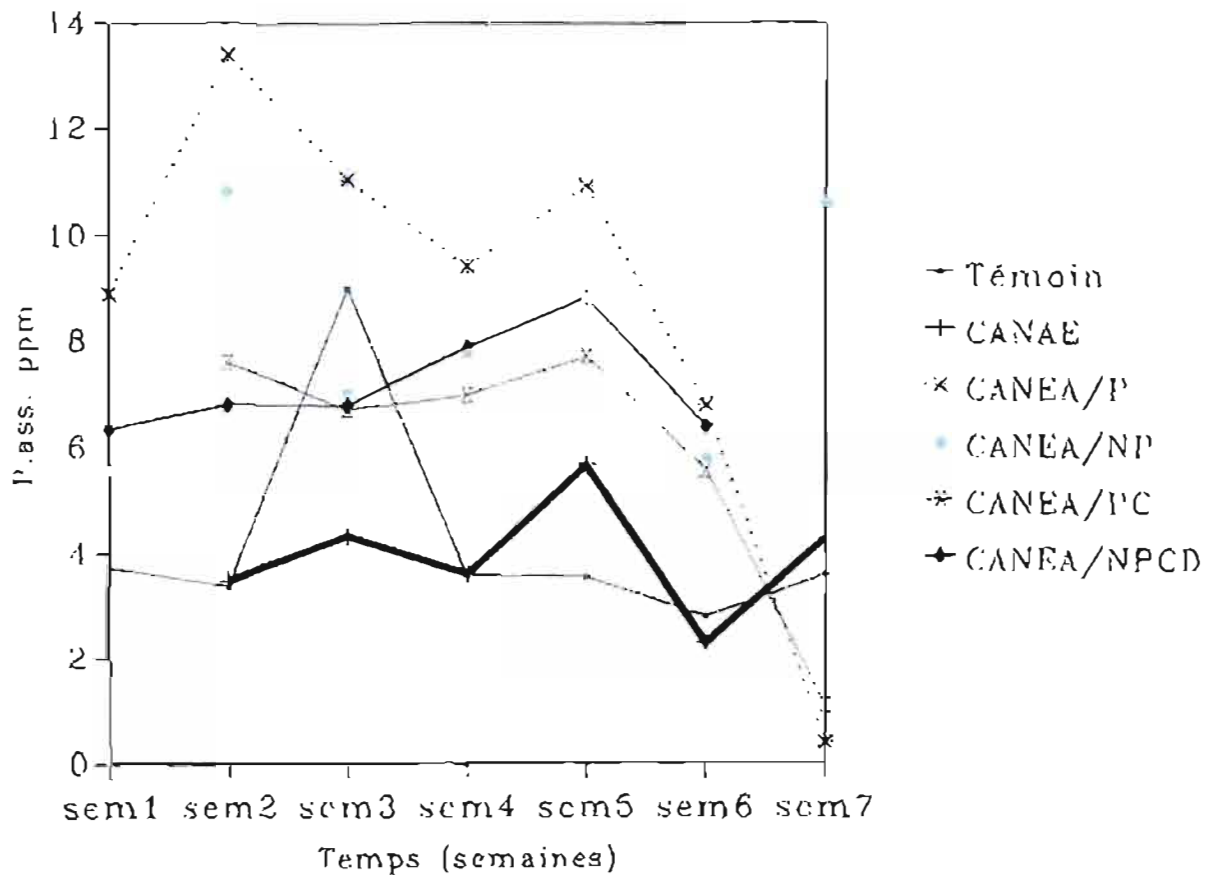


Fig.11b: Evolution du phosphore assimilable/sol ferrallitique

avec azote

Une autre différence se situe au niveau du comportement des différents substrats en fin d'expérience où quatre groupes semblent se distinguer :

- C. ANAE et le témoin avec respectivement 3,70 et 3,90 ppm P
- C. ANAE/N.P avec 5,10 ppm P
- C. ANAE/P.C et le C. ANAE/NPCD avec 6,20 et 6,60 ppm
- et C. ANAE/P avec 9,00 ppm P.

En présence d'azote (fig. 11b) les phases sont les mêmes avec des valeurs plus ou moins fortes en fonction des traitements.

b) Evolution du pH

Les résultats sont donnés en annexes.

D'une manière générale on observe une baisse progressive de pH pendant toute la durée de l'incubation.

Au niveau des sols ferrallitiques (fig. 12a) la différenciation entre les traitements n'est pas nette pendant les six premières semaines. En fin d'expérience, on observe une légère augmentation du pH.

L'apport d'urée (fig. 12b) provoque une élévation du pH pendant les quatre premières semaines. Il n'y a pratiquement pas de différence entre les traitements pendant la durée de l'expérience.

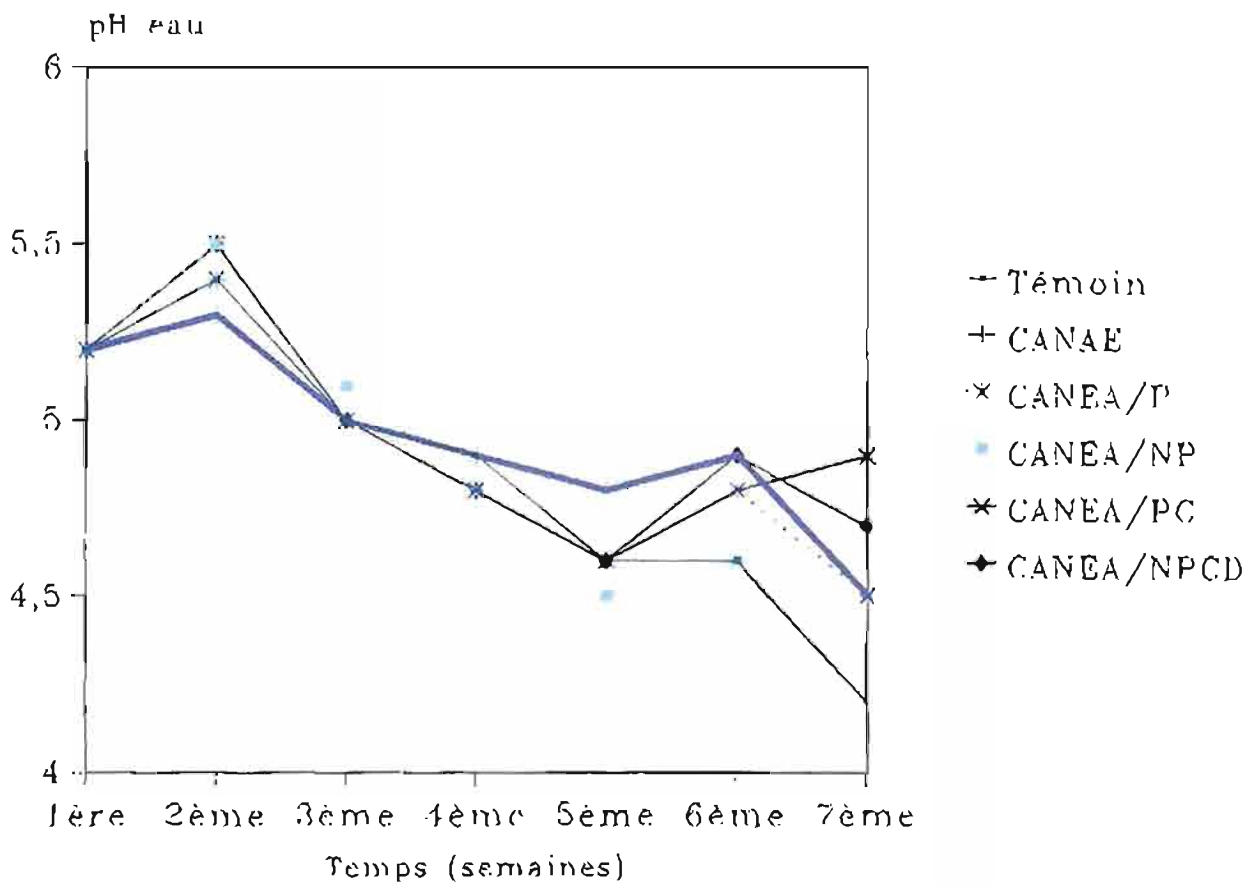


Fig.12 a: Evolution du pH eau/sol ferrallitique (sans azote)

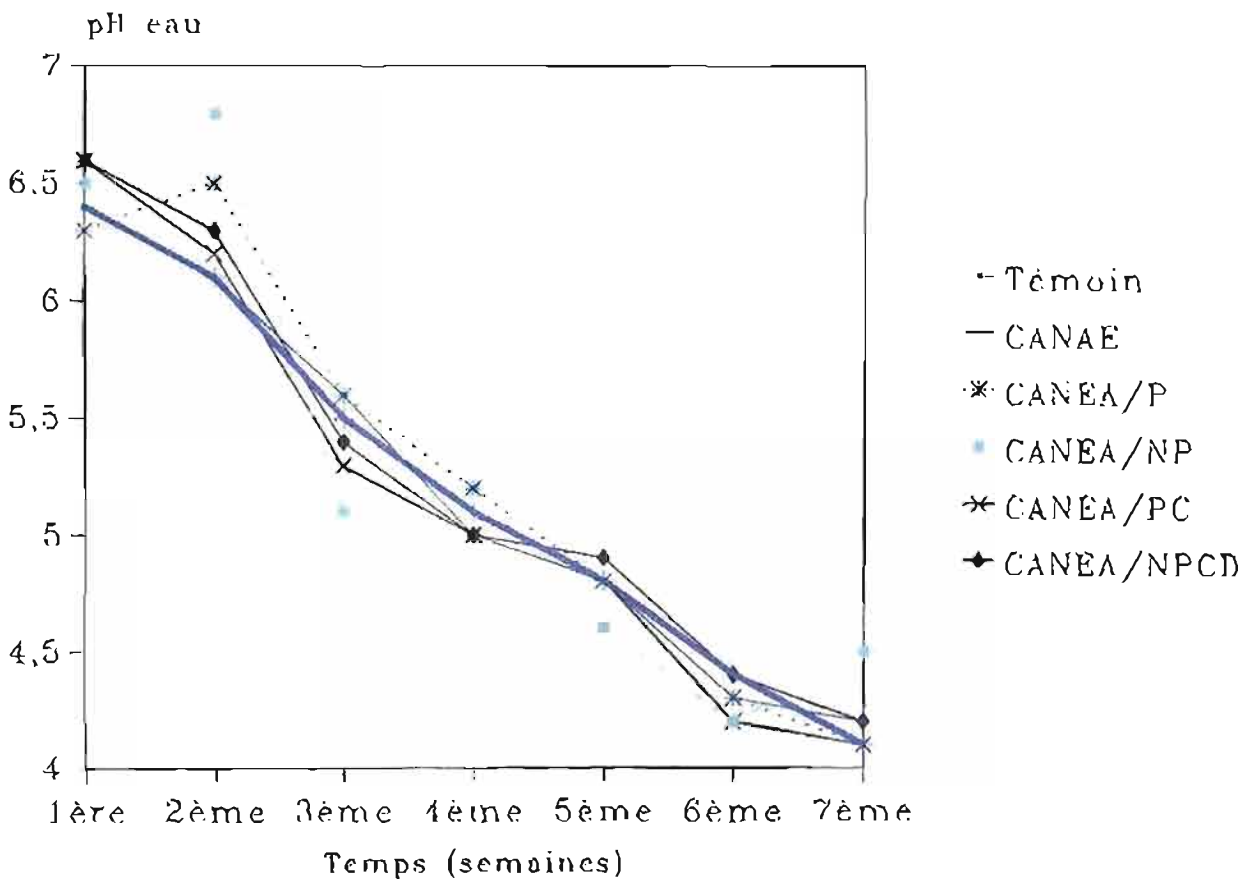


Fig.12 b: Evolution du pH eau /sol ferrallitique (avec azote)

Le pH du sol ferrugineux (fig. 13a et 13b) suit la même évolution. Cette évolution du pH est liée comme le suggère SEDOGO (1981) à l'évolution des formes de l'azote du sol (NO_3^- et NH_4^+). La libération de NH_4^+ augmente le pH du sol, alors que celle du NO_3^- l'acidifie.

L'apport d'azote entraîne une production importante de NH_4^+ par suite d'hydrolyse, ce qui provoque une élévation du pH.

▪ Test en vases de végétation

a) Production de matières sèches

Les productions décroissent de la première à la dernière coupe, traduisant ainsi l'épuisement progressif du sol en éléments nutritifs.

• Effets des substrats organiques seuls (tableau 36)

Par rapport au témoin, tous les composts ont eu un effet positif sur la culture. Ainsi C. ANAE/P et C. ANAE/N.P ont entraîné une augmentation de la production totale du témoin, respectivement de 22 et 27 p.c. Les composts C. ANAE/P.C et C. ANAE/NPCD sont les meilleurs avec des surplus de production respectifs de 32 et 38 p.c.

L'examen des résultats montre une légère baisse de la production avec le compost anaérobie frais (C. ANAE) à la deuxième coupe. Cet effet, déjà signalé par SEDOGO (1981), serait lié à une immobilisation d'azote et de phosphore sous l'action de germes hétérotrophes, suite à l'enfouissement de substrat organique à C/N élevé. Cet effet dépressif disparaît avec la finition, qui entraîne une réduction du rapport C/N.

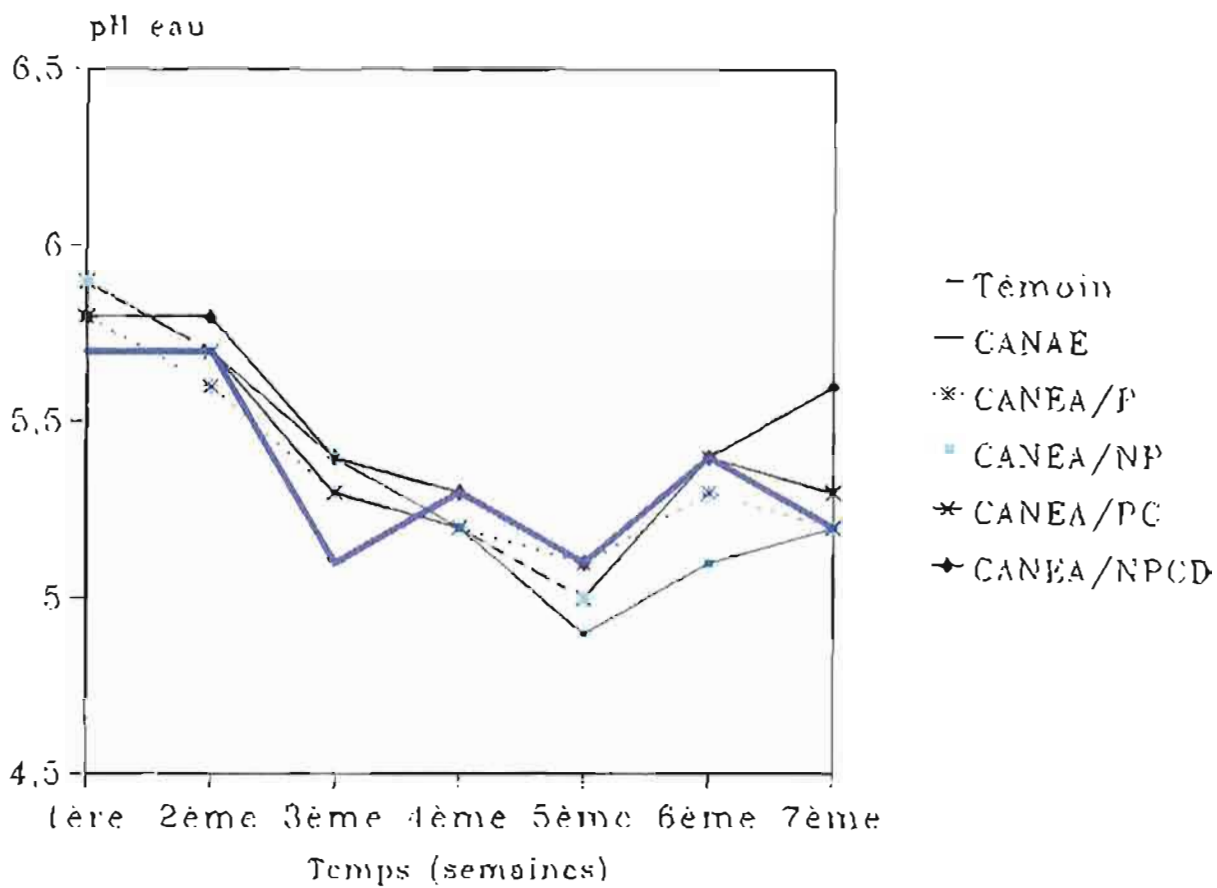


Fig.13 a: Evolution du pH eau /sol ferrugineux (sans azote)

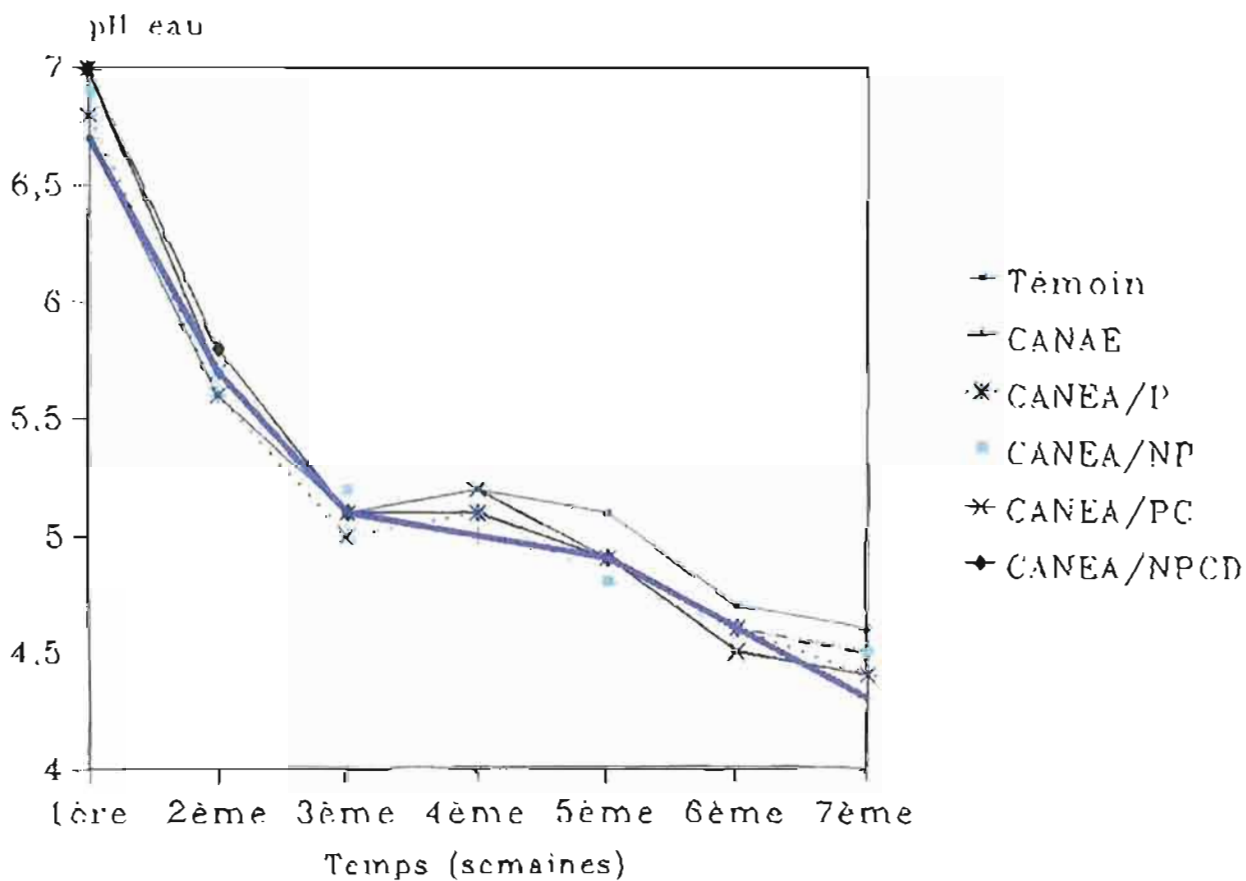


Fig 13 b: Evolution du pH eau /sol ferrugineux (avec azote)

Tableau 36 : Composts anaérobies : production de matières sèches de mil en mg/kg sol (sans azote)

	1ère coupe		2ème coupe		3ème coupe		Σ 3 coupes	
	mg/kg	p.c.	mg/kg	p.c.	mg/kg	p.c.	mg/kg	p.c.
Témoin	1800	100	613	100	347	100	2760	100
C. ANAE	1843	102	548	98	387	111	2778	101
C. ANAE/P	2245	124	760	124	364	105	3369	122
C. ANAE/N.P	2435	135	663	108	412	119	3510	127
C. ANAE/P.C	2475	138	858	140	301	87	3634	132
C. ANAE/NPCD	2693	150	753	123	365	103	3811	138

- Effets des substrats organiques en présence d'azote

L'apport d'urée améliore la production sans pour autant empêcher la baisse de production au cours des coupes.

L'effet dépressif des composts frais (C. ANAE) a disparu, confirmant l'hypothèse d'immobilisation de l'azote pour les synthèses microbiennes.

Le tableau 37 permet d'apprécier l'effet de l'apport d'azote en fonction des différents composts testés. Il en ressort un effet variable suivant les coupes mais surtout un effet très marqué des composts finis en présence de phosphates naturels avec ou sans d'autres produits d'adjonction.

En comparant le comportement des traitements avec substrats organiques et le sol (tableau 38) il ressort que l'apport d'azote est plus sensible dans le cas de C. ANAE, substrat organique à C/N élevé, que sur les autres composts qui ont subi un compostage complémentaire ayant entraîné une réduction de ce rapport.

Tableau 37 : Composts anaérobies : production de matières sèches de mil en mg/kg sol (avec azote)

	1ère coupe		2ème coupe		3ème coupe		Σ 3 coupes	
	mg	p.c.	mg	p.c.	mg	p.c.	mg	p.c.
Témoin	2430	100	1100	100	420	100	3950	100
C. ANAE	2668	110	1070	97	442	129	4180	105
C. ANAE/P	3408	140	1288	117	412	121	5108	129
C. ANAE/P.N	3313	136	1240	113	516	153	5069	128
C. ANAE/P.C	3200	132	1770	161	697	206	5667	143
C. ANAE/NPCD	3463	142	1418	129	531	156	5412	137

Tableau 38 : Effets des composts sur la production du mil
mg m.s./kg sol.

Substrats organiques	1ère coupe		2ème coupe		3ème coupe		Σ 3 coupes	
	-N	+N	-N	+N	-N	+N	-N	+N
C. ANAE	+ 43	+ 238	- 65	- 30	+ 40	+ 22	+ 18	+1402
C. ANAE/P	+445	+ 978	+147	+188	+ 17	- 8	+ 609	+1739
C. ANAE/P.C	+675	+ 770	+245	+670	- 46	+277	+ 874	+2033
C. ANAE/N.P	+635	+ 883	+ 50	+140	+ 65	+ 96	+ 690	+1619
C. ANAE/NPCD	+893	+1033	+140	+318	+ 18	+111	+1051	+1601

Ce constat va dans le même sens que celui fait par SEDOGO (1993) qui dans une étude comparative de différents substrats organiques a montré que la productivité de l'azote est supérieure avec les substrats à C/N élevés (pailles et composts anaérobies) avec respectivement 14,4 et 11,7 kg m.s/kgN qu'avec les substrats à C/N plus bas (fumier, composts aérobies) avec respectivement 8,7 et 7,6 kg m.s/kgN.

b) Effets des composts anaérobies sur les teneurs en phosphore du mil (tableau 39)

Les teneurs en phosphore croissent au fil des coupes. A la première coupe, seuls C. ANAE/PC et C. ANAE/NPCD ont amélioré les teneurs en phosphore du mil. L'apport d'azote a plutôt provoqué la baisse du phosphore dans le mil. A la deuxième coupe, les teneurs sont nettement plus élevées avec des différences notables entre les composts finis et améliorés et C. ANAE et le témoin. L'effet dépressif de l'apport d'urée demeure. A la troisième coupe, la différenciation entre les différents composts s'approfondit.

Ainsi on constate :

- une nette différence entre le témoin et les composts ;
- une équivalence entre C. ANAE, C. ANAE/NP, C. ANAE/PC ;
- et enfin la bonne performance de C. ANAE/P et C. ANAE/NPCD.

L'apport d'azote a entraîné une amélioration des teneurs pour les traitements suivants : témoin, C. ANAE/P, C. ANAE/N.P. Par contre il y a une baisse importante avec C. ANAE et C. ANAE/P.C et légère avec C. ANAE/NPCD.

Tableau 39 : Teneurs du mil en phosphore (mgP/kg m.s)

Traitements	1ère coupe		2ème coupe		Σ 2 coupes		3ème coupe		Σ 3 coupes	
	-N	+N	-N	+N	-N	+N	-N	+N	-N	+N
Témoin	933	667	1256	836	2189	1503	1787	2143	3976	3646
C. ANAE	939	701	1350	860	2289	1561	4264	905	6553	2466
C. ANAE/P	989	830	1632	1592	2621	2422	5470	6019	8091	8441
C. ANAE/PN	994	779	1584	1516	2578	2295	4442	5155	7020	7450
C. ANAE/PC	1018	744	1597	836	2615	1580	4585	1966	7200	3546
C. ANAE/NPCD	1121	835	1607	874	2728	1709	7068	6403	9769	8112

c) Effets des composts anaérobies sur le phosphore exporté

- Exportation du phosphore en absence de fumure azotée (tableau 40)

Les exportations baissent au fil des coupes et sont en rapport avec les baisses de production de matière sèche. A l'exception du C. ANAE, dont l'effet positif n'apparaît qu'à la 3e coupe, tous les autres composts ont amélioré de façon notable la nutrition phosphatée du mil.

Par rapport au C. ANAE et sur l'ensemble des trois coupes, il ressort une nette augmentation de la mobilisation du phosphore par les composts finis et particulièrement ceux dont la maturation s'est déroulée en présence de phosphates naturels seuls (C. ANAE/P) ou en mélange avec d'autres produits (C. ANAE/NP, C. ANAE/NPCD, C. ANAE/PC).

- Exportation du phosphore en présence d'azote (tableau 40)

Globalement, l'apport d'azote a permis d'améliorer légèrement la nutrition phosphatée du mil.

Tableau 40 : Exportation du phosphore par le mil (mg/kg sol)

	1ère coupe		2ème coupe		3 coupe		Σ 2 coupes		Σ 3 coupes	
	-N	+N	-N	+N	-N	+N	-N	+N	-N	+N
1. Témoin	1,68	1,62	0,77	0,92	0,62	0,90	2,45	2,54	3,07	3,44
2. C. ANAE	1,73	1,87	0,74	0,92	1,65	0,40	2,47	2,79	4,12	3,19
3. C. ANAE/P	2,22	2,83	1,24	2,05	1,99	2,48	3,46	4,88	5,45	7,36
4. C. ANAE/P.N	2,42	2,58	1,05	1,88	1,83	2,66	3,47	4,46	5,30	7,12
5. C. ANAE/P.C	2,52	2,38	1,37	1,48	1,38	1,37	3,89	3,86	5,27	5,23
6. C. ANAE/NPCD	3,02	2,89	1,21	1,24	2,58	3,40	4,23	4,13	6,81	7,53

De façon globale, sans azote, tous les composts ont eu un effet positif sur les teneurs en phosphore du mil ; celles entraînées par C. ANAE restant plus faibles.

L'effet de l'apport d'azote est plus faible surtout pour les traitements C. ANAE, C. ANAE/P.C et dans une moindre mesure pour le témoin et C. ANAE/NPCD.

En résumé, on peut retenir que, la technique de production de composts aérobies de pailles permet d'améliorer les caractéristiques chimiques de ces composts, comparativement à la technique classique telle que préconisée par GANRY et GUEYE (1978).

L'hétérogénéité de la litière utilisée et ses propriétés physico-chimiques de départ (granulométrie, pH, teneur en C, N, P, K, S, taux de matière sèche et humidité) sont autant de facteurs qui conditionnent la qualité finale des composts.

Le test d'incubation a mis en évidence l'effet bénéfique des phosphocomposts sur la dynamique du phosphore assimilable. L'effet dose de phosphates naturels est manifeste sur tous les sols.

Du point de vue production de matière sèche, il ressort que le niveau de réponse du mil à ces substrats organiques est fonction du type de sol, avec cependant une supériorité du compost C5 obtenu à partir du compostage de la litière et de 100 kg de phosphates naturels de Kodjarí.

Cette étude a également permis d'enrichir les résultats antérieurs sur la filière biogaz composts en mettant en évidence les possibilités d'utilisation agricole des composts anaérobies. Ainsi il a été montré la possibilité d'améliorer leur qualité par un compostage complémentaire en aérobiose (ou fintion) avec adjonction de certains produits locaux, en particulier les phosphates naturels du Burkina.

5.1.1.3. Effets des phosphates naturels sur le compostage aérobie de pailles de maïs en présence d'inoculum

Le compostage en tas des pailles de maïs a été réalisé en présence de phosphates naturels du Burkina, de fumier et d'un activateur de compost (Micro 110 IBF). L'objectif principal est la production d'un substrat organique de qualité en un temps relativement court.

Le compostage a duré 4 mois.

• Caractéristiques chimiques (tableau 41)

. Le pH varie entre 7,42 et 7,52. Comparativement aux pailles brutes, le compostage a légèrement augmenté le pH. Les différences entre les différents composts sont négligeables.

. Le compostage a entraîné une réduction du rapport C/N qui est passé de 81 pour les pailles brutes non compostées à 29 pour les pailles compostées. Les plus faibles rapports C/N sont obtenus avec les composts produits en présence de fumier avec ou sans inoculum. Avec des C/N respectifs de 19 et 18, ces composts peuvent être considérés comme mûrs, si l'on se réfère aux critères de maturité d'un compost de Mustin (1987).

Les composts produits en présence de phosphates naturels du Burkina ont un rapport C/N variant entre 21 et 23, à la limite de la maturité.

. Les teneurs en phosphore sont nettement plus élevées sur les composts obtenus en présence de phosphates naturels, et particulièrement en présence de ferments (fumier et inoculum).

Tableau 41 : Caractéristiques chimiques des composts de pailles de maïs après 4 mois de compostage

Traitement	pH eau	C Total p.c.	N p.c.	C/N	P p.c.	Ca p.c.	Mg p.c.	K p.c.
Paille seule compostée (compost C1)	7,48	25,62	0,89	29	0,48	0,05	0,02	0,25
(Paille + fumier) composté (compost C2)	7,52	22,46	1,22	18	0,72	0,11	0,05	0,34
(Paille + fumier + inoculum) composté (compost C3)	7,42	21,50	1,13	19	0,57	0,08	0,03	0,34
(Paille + fumier + P.N) composté	7,43	21,23	1,00	21	3,41	0,19	0,02	0,26
(Paille + fumier + inoculum + PN) composté (compost)	7,47	20,69	0,95	22	3,35	0,19	0,03	0,25
(Paille + fumier + inoculum + PN+ urée) composté	7,48	22,75	0,97	23	2,80	0,15	0,01	0,26
Paille de maïs brut non compostée	7,12	52,76	0,66	81	0,06	-	-	-

. Les teneurs en bases varient entre 0,32 p.c. pour le compost de paille seule et 0,52 p.c. pour le compost obtenu avec adjonction de fumier, inoculum, phosphates naturels et urée. Le compost (paille + fumier) contient 0,50 p.c. de bases. Il est à noter d'une part, l'augmentation importante du calcium suite aux apports de phosphates naturels et d'autre part, celle du potassium suite au compostage avec différents produits, comparativement au compost de paille seule.

- Cinétique de minéralisation

Pour cette évaluation, seuls les composts suivants sont pris en compte, à travers un test respirométrique :

C3 : (paille + fumier + inoculum) composté

C4 : (paille + fumier + inoculum + PN) composté

- a) Dégagements journaliers de CO_2
(tableau 42 ; fig.14)

L'examen des courbes d'activité respiratoire laisse apparaître deux parties très nettes. La première est caractérisée par un dégagement très important du CO_2 . Sa durée est de un jour pour tous les traitements. Le niveau de production de gaz carbonique pendant cette phase est de 1,50 mg CO_2 /j pour le témoin (sol sans apport de compost), 1,70 et 1,74 mg CO_2 /j lorsque l'incubation est faite avec un sol contenant, respectivement les composts C3 et C4.

Tableau 42 : Test Respiromètre, dégagements journaliers et cumulés de Co₂

	Témoin (sol)				Sol + Compost 3				Sol + Compost 4			
	Q mg (Co ₂ /j)		Cumul mg Co ₂		Q mg (Co ₂ /j)		Cumul mg Co ₂		Q mg (Co ₂ /j)		Cumul mg Co ₂	
	-N	+N	-N	+N	-N	+N	-N	+N	-N	+N	-N	+N
1	1,50	2,80	1,50	2,80	1,70	3,36	1,70	3,36	1,74	3,48	1,74	3,48
2	1,14	1,98	2,64	4,78	1,34	2,24	3,04	5,60	1,18	2,10	2,92	5,58
3	0,60	1,02	3,24	5,80	0,74	1,30	3,78	6,90	0,66	2,04	3,58	7,62
4	0,30	0,52	3,54	6,32	0,84	1,22	4,62	8,12	0,36	1,40	3,94	9,02
5	0,12	0,34	3,66	6,66	0,72	0,82	5,34	8,94	0,56	1,10	4,50	10,12
6	0,02	0,14	3,68	6,80	0,64	0,50	5,98	9,44	0,28	0,66	4,78	10,78
7	0,30	0,46	3,98	7,26	0,56	0,88	6,54	10,32	0,48	0,78	5,26	11,56
9	0,29	0,41	4,27	7,67	0,43	0,57	6,97	10,89	0,32	0,46	5,58	12,02
11	0,15	0,29	4,42	7,96	0,38	0,58	7,35	11,47	0,23	0,44	5,81	12,46
13	0,12	0,24	4,54	8,20	0,36	0,52	7,71	11,99	0,16	0,43	5,97	12,89
15	0,07	0,18	4,61	8,38	0,22	0,27	7,93	12,26	0,11	0,31	6,08	13,20
17	0,09	0,21	4,70	8,59	0,23	0,31	8,16	12,57	0,18	0,23	6,26	13,43
19	0,05	0,11	4,75	8,70	0,10	0,26	8,26	12,83	0,06	0,20	6,32	13,63
21	0,01	0,08	4,76	8,70	0,32	0,36	8,58	13,19	0,02	0,22	6,34	13,85

Compost 3 : (paille + fumier + inoculum) composté

Compost 4 : (paille + fumier + inoculum + PN) composté

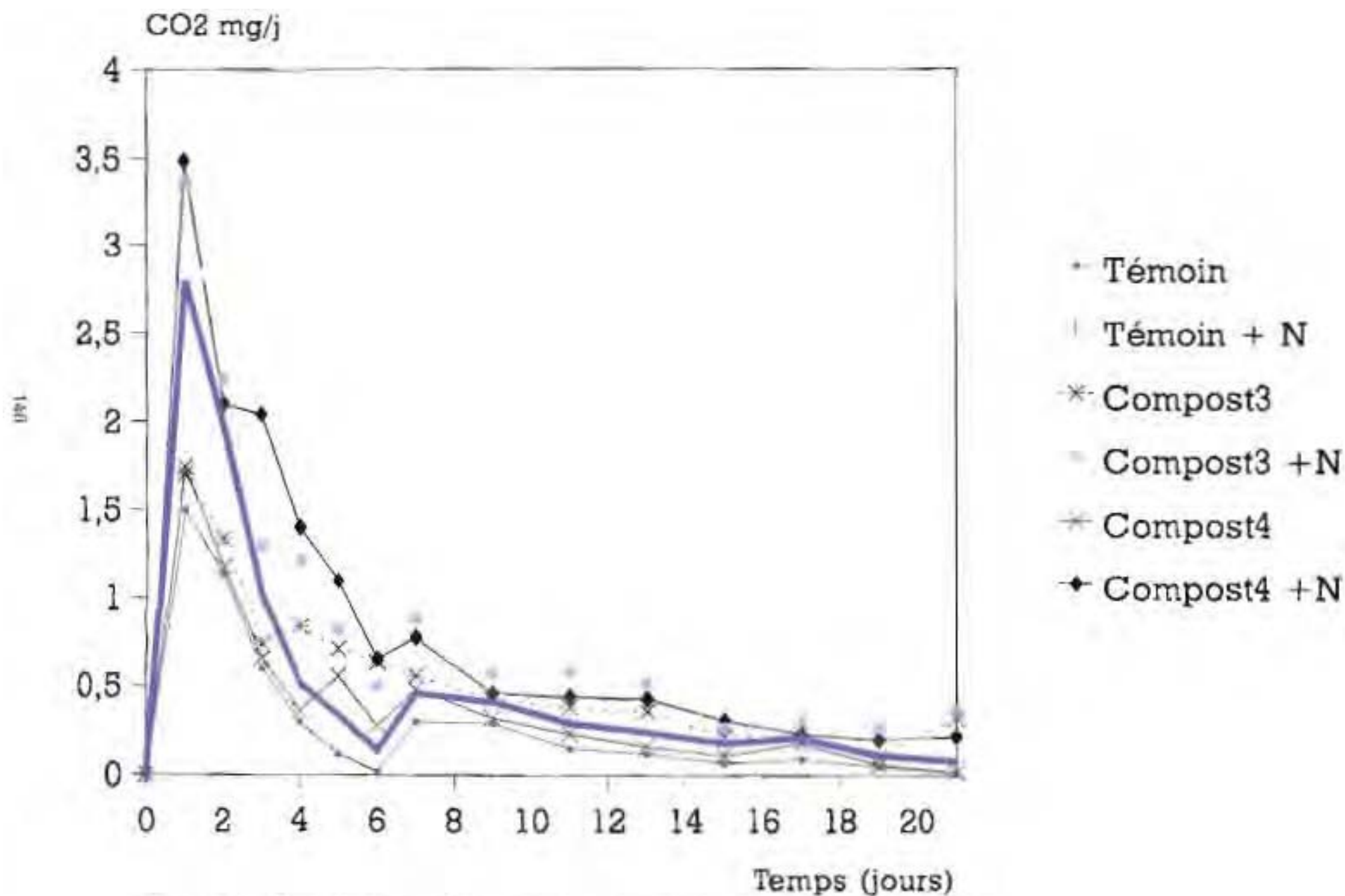


Fig 14: Evolution du dégagement journalier de CO2

La décroissance suivi d'une succession de pics, caractérisent la deuxième partie de cette cinétique de minéralisation. Cette décroissance est plus ou moins rapide, et plus ou moins continue selon les traitements. Ainsi sur le témoin, la baisse est plus rapide et continue jusqu'au 6e jour. Sur les autres traitements, la baisse est entrecoupée de pics à partir du 3e jour pour C3 et du 4e jour pour C4.

En fin d'expérience les dégagements journaliers de CO_2 sont très faibles sur le témoin (0,01 mg CO_2/j) et sur C4 (0,02 mg CO_2/j) mais nettement plus élevés sur C3 (0,32 mg CO_2/j).

L'apport d'azote ne modifie pas l'évolution qui vient d'être décrite, mais accroît de façon notable les quantités de CO_2 dégagées. Ainsi sur le témoin, le niveau atteint dans la phase ascendante de la production est de 2,80 mg CO_2/j , soit une augmentation de 87 p.c. par rapport au témoin sans azote. Sur C3 et C4 les augmentations, suite à cet apport d'azote, sont respectivement de 98 et 100 p.c.

b) Productions cumulées de CO_2
(tableau 42, fig 15)

D'une manière générale cette évolution, en absence ou en présence d'azote, a une allure exponentielle avec trois phases caractéristiques :

- La première qui correspond à une phase ascendante, mais à forte pente, elle dure 1 jour pour le témoin et 2 jours pour C3 et C4.
- Une deuxième, toujours ascendante, rapide d'abord et plus lente jusqu'au 6e ou 7e jour, selon le traitement.
- Enfin la troisième, caractérisée par un accroissement beaucoup plus lent, sinon un plateau.

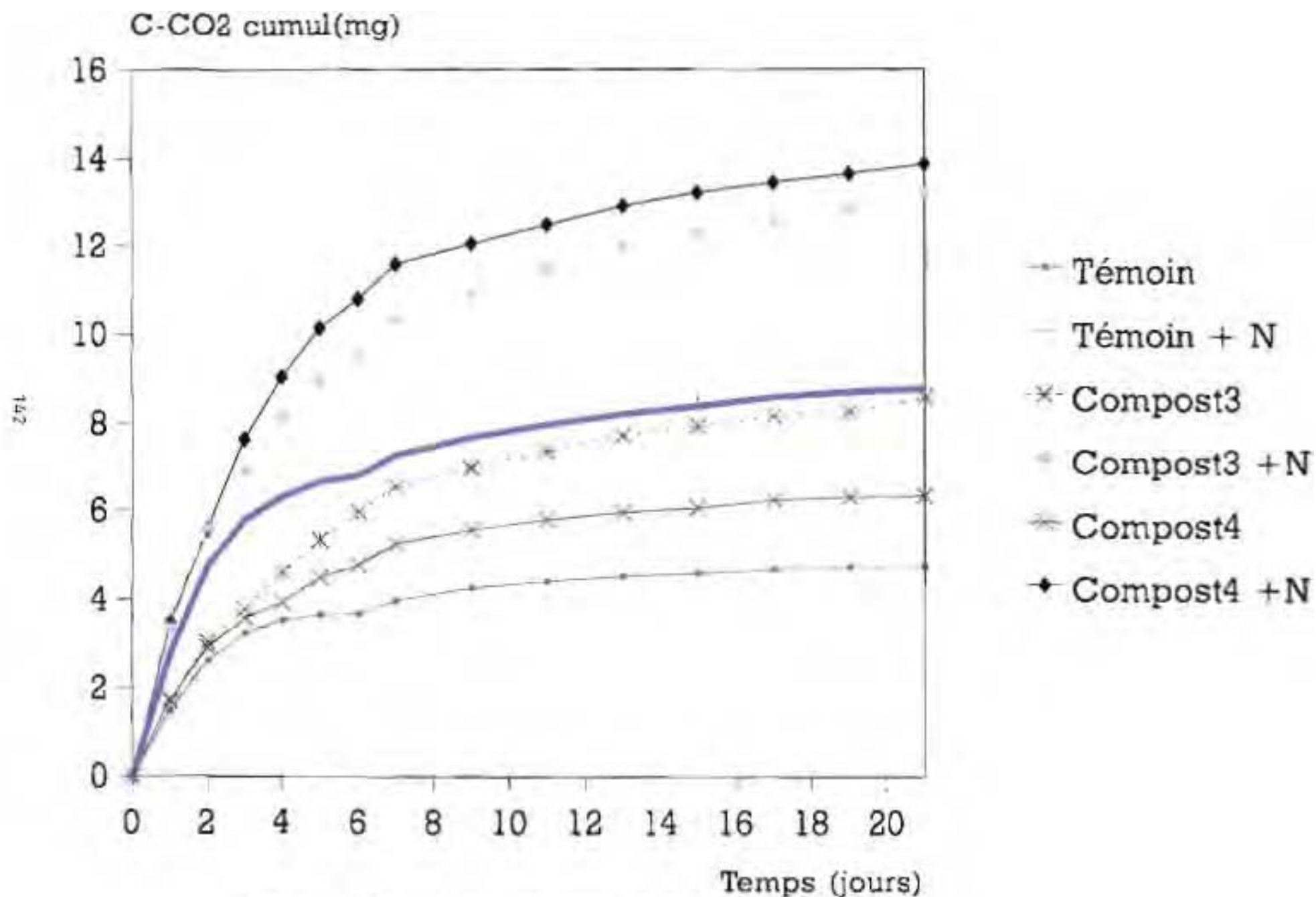


Fig 15: Evolution cumulée du C-CO₂

Le témoin plafonne à 4,76 mg C-Co₂ sans azote et à 8,70 mg C-Co₂ en présence d'azote, soit une augmentation de 83 p.c.

Les productions cumulées passent de 8,58 mg Co₂ sans azote à 13,16 mg Co₂ en présence d'azote, soit un accroissement de 53 p.c. pour le traitement avec le compost C3. Cet accroissement est de 118 p.c. avec le compost C4.

L'accroissement général de la production de Co₂ suite à l'apport de compost, constitue la conclusion la plus importante. En absence d'azote, le compost C3 (C/N = 19) minéralise plus que le compost C4 (C/N = 22). En présence d'azote c'est le contraire qui est observé.

c) Evolution du taux de minéralisation complémentaire cumulé

Le tableau 43 et la figure 16 montrent, qu'en absence d'azote, 12 p.c. du carbone apporté par le compost C3 est minéralisé, contre 5 p.c. pour le compost C4. L'apport d'azote fait passer le taux de minéralisation complémentaire de 12 à 14 p.c. pour C3 et de 5 à 17 p.c. pour C4.

En conclusion on peut dire que le compostage des pailles de maïs en présence de phosphates naturels de fumier et de l'activateur de compost (MICRO 110) a permis d'améliorer les caractéristiques chimiques (C, N, C/N, P et bases totales) des composts de pailles seules.

L'étude de l'aptitude à la biodégradation et à la minéralisation des composts montre que l'activité globale de la microflore totale du sol est fortement modifiée par l'incorpo-

Tableau 43 : Test Respirométrique, TMC journalier et cumulé

TPS (jours)	Sol + Compost 3				Sol + Compost 4			
	Q mg (Co ₂ /j)		Cumul mg Co ₂		Q mg (Co ₂ /j)		Cumul mg Co ₂	
	-N	+N	-N	+N	-N	+N	-N	+N
1	0,63	1,75	0,63	1,75	0,80	2,27	0,80	2,27
2	0,63	0,81	1,26	2,56	0,13	0,40	0,93	2,67
3	0,44	0,88	1,70	3,44	0,20	3,40	1,13	6,07
4	1,69	2,16	3,39	5,63	0,20	2,93	1,33	9,00
5	1,88	1,50	5,27	7,16	1,47	2,53	2,80	11,53
6	1,94	1,13	7,21	8,26	0,87	1,73	3,67	13,26
7	0,81	1,31	8,02	9,57	0,60	1,06	4,27	14,32
9	0,44	0,50	8,46	10,07	0,10	0,17	4,37	14,49
11	0,72	0,91	9,18	10,98	0,27	0,50	4,64	14,99
13	0,75	0,88	9,93	11,86	0,13	0,63	4,77	15,62
15	0,47	0,28	10,40	12,14	0,13	0,43	4,90	16,05
17	0,44	3,31	10,84	12,45	0,30	0,07	5,20	16,12
19	0,16	0,47	11,00	12,92	0,03	0,30	5,23	16,42
21	0,97	0,88	11,97	13,80	0,03	0,47	5,26	16,89

$$TMC = \frac{C \text{ dégagé (sol + compost)} - C \text{ dégagé (sol seul)}}{C. \text{ Introduit}}$$

C total sol = 0,61 p.c.

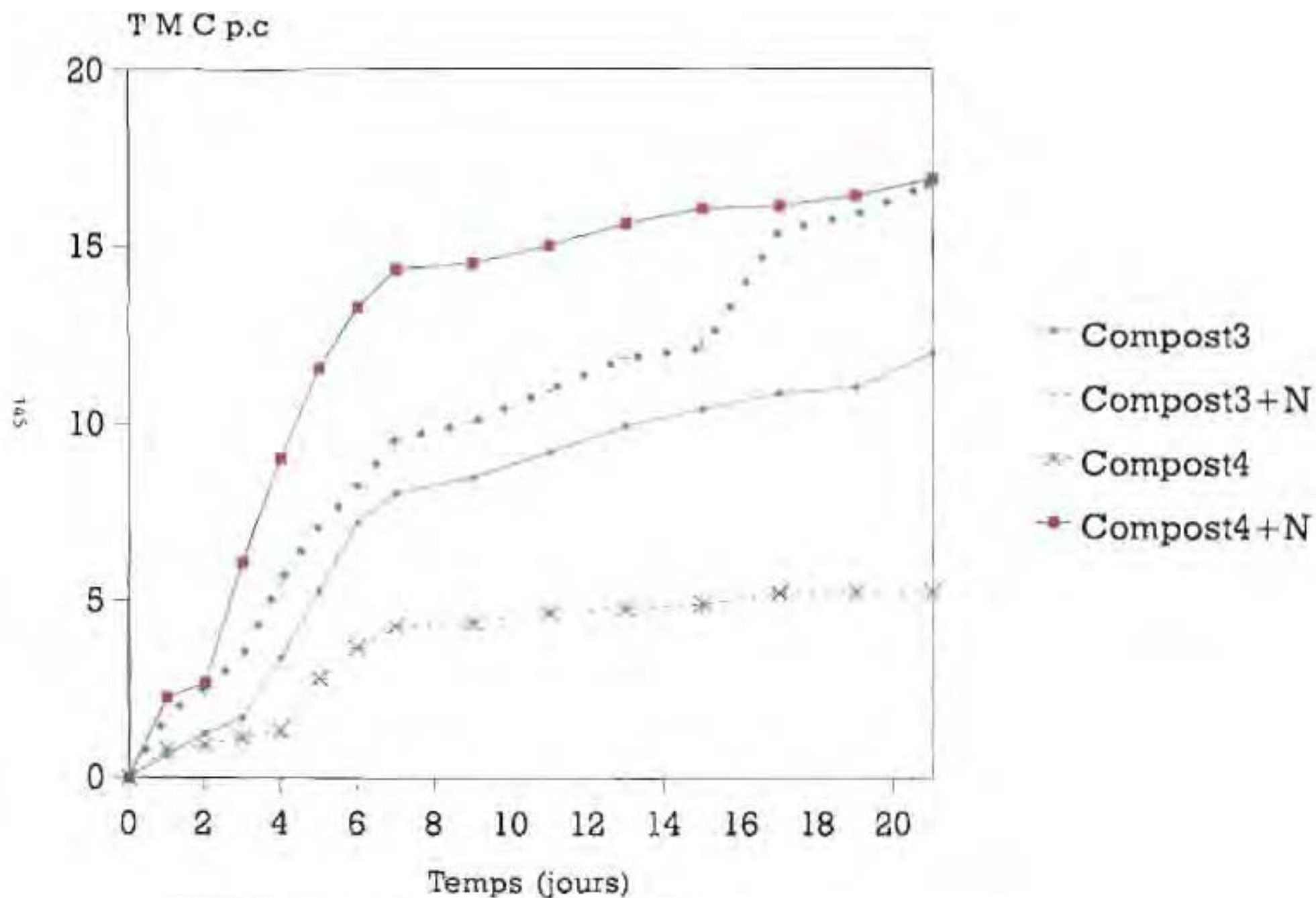


Fig 16: Evolution du TMC cumulé

ration de ces substrats organiques. En absence d'azote c'est le compost C3 qui semble mieux stimuler l'activité biologique du sol et par conséquent c'est le compost qui minéralise le plus rapidement. L'apport de phosphates naturels ne stimule de façon sensible l'activité biologique qu'en présence d'azote.

5.1.1.4. Effets combinés des phosphates naturels et d'oxydes d'azote sur les balles de riz

Cette étude a été menée en collaboration avec la Société Française de Réalisation, d'Etudes et de Conseil (SOFRECO) dans le cadre d'un projet d'études des phosphates naturels des pays du LIPTAKO Gourma qui regroupe le Burkina Faso, le Mali et le Niger. Cette société a fourni les produits testés, qui ont été obtenus par attaque d'oxydes d'azote (appelés "Humifert") et par attaque sulfurique partielle à 50 p.c.

Dans le cadre de ce travail seuls sont pris en compte les phosphates humifert (produits avec des balles de riz comme support) à travers un essai en vases de végétation, réalisé sur sol ferrugineux tropical lessivé (Saria) et brun vertique (Di).

• Les caractéristiques chimiques (tableau 44)

Ce produit est riche en phosphore, surtout soluble à l'eau (plus de 50 p.c. du P Total). Sa teneur en azote, en matière organique, et en bases en font un engrais NP très intéressant pour les cultures (tableau 44).

Tableau 44 : Caractéristiques chimiques des phosphates
"Humifert"

	pH eau	C PC	N	C/N	Phosphore en P.C				Bases P		
					P ₂ O ₅ total	P ₂ O ₅ soluble eau	P ₂ O ₅ soluble AC formique 2 p.c.	P ₂ O ₅ soluble citrate neutre	Ca	Mg	K
Phosphates "humifert"	2,3	23	3	7	15,5	8,11	10,03	5,25	5,22	5,22	0,38

- La valeur agronomique des phosphates
"Humifert"

- a) Production de matières sèches

- Sol ferrugineux tropicaux
lessivé de Saria (tableau
45)

Dès la première coupe, il apparaît nettement l'effet phosphore sur ce sol, quelle que soit la source. Par rapport au phosphate supertriple, pris comme référence, les phosphates s'avèrent nettement plus efficaces avec un indice de 126. Les phosphates naturels bruts sont moins efficaces (indice 81).

Tableau 45 : Production de matières sèches. Sol ferrugineux Saria. Phosphates "humifert".

	1ère coupe		2ème coupe		Σ 2 coupes		3ème coupe		Σ 3 coupes	
	mg/kg	indice p.c.	mg/kg	indice p.c.	mg/kg	indice p.c.	mg/kg	indice p.c.	mg/k g	indice p.c.
Témoin	865	68	360	38	1225	55	464	50	1689	54
Phosphates naturels bruts (BF)	1036	81	1017	107	2053	92	1236	133	3289	104
Phosphates humifert (BF)	1602	126	968	102	2570	116	917	99	3487	111
Phosphate supertriple (TSP)	1274	100	949	100	2223	100	927	100	3150	100

Au fil des coupes, l'efficacité des phosphates humifert baisse (102 à la 2e coupe et 99 à la 3e) tandis que celle des phosphates bruts croît (107 à la 2e coupe et 133 à la 3e coupe). A la fin de l'expérience la production cumulée indique une légère supériorité des phosphates humifert sur le phosphate supertriple qui, dans ces conditions, est légèrement moins efficace que les phosphates naturels bruts.

▪ Sol brun vertique DI (tableau 46)

Les productions sont plus élevées que celles observées avec le sol de Saria.

A l'exception de la première coupe où les phosphates humifert sont supérieurs au phosphate supertriple, ce dernier reste plus, sinon aussi efficace que le phosphate humifert.

Les phosphates naturels ont un comportement totalement différent de celui sur sol ferrugineux. En effet, son efficacité relative (par rapport au TSP) baisse au fil des coupes (97 à la 1ère coupe, 87 à la 2e et 79 à la troisième).

b) Phosphore exporté et teneur en phosphore du mil

▪ Sol ferrugineux lessivé

L'apport de l'engrais phosphates "humifert" a nettement amélioré la nutrition phosphatée du mil (tableau 47). Le supertriple est le meilleur engrais phosphate, suivi des phosphates "humifert" et des phosphates bruts de Kodjari. Ces observations se confirment lorsqu'on considère les teneurs en phosphore du mil (tableau 49).

Tableau 46 : Production de matières sèches. Sol brun vertique DI. Phosphates "humifert".

	1ère coupe		2ème coupe		Σ 2 coupes		3ème coupe		Σ 3 coupes	
	mgP/ vase	indice p.c.	mgP/ vase	indice p.c.	mgP/ vase	indice p.c.	mgP/ vase	indice p.c.	mg/ vase	indice p.c.
Témoin	1429	77	681	48	2110	64	945	46	3055	57
Phosphates naturels bruts (BF)	1809	97	1227	87	3036	93	1643	79	4679	88
Phosphates humifert (BF)	2070	111	1383	98	3453	106	1897	92	5350	100
Phosphate supertriple (TSP)	1861	100	1411	100	3272	100	2068	100	5340	100

Tableau 47 : Phosphore exporté par le mil en mgP/vase. Sol ferrugineux Saria. Phosphates "humifert".

	1ère coupe		2ème coupe		Σ 2 coupes		3ème coupe		Σ 3 coupes	
	mgP/vase	indice p.c.	mgP/vase	indice p.c.	mgP/vase	indice p.c.	mgP/vase	indice p.c.	mgP/vase	indice p.c.
Témoin	2,88	9	0,95	7	3,83	8	1,41	15	5,24	10
Phosphates naturels bruts (BF)	8,86	28	7,24	54	16,10	35	6,11	66	22,21	41
Phosphates humifert (BF)	25,99	81	9,09	68	35,08	77	8,01	86	43,09	79
Phosphate supertriple (TSP)	32,06	100	13,39	100	45,45	100	9,32	100	54,77	100

▪ Sol brun vertique

Sur ce sol, le phosphore exporté est plus élevé sur les traitements "témoin" et les phosphates naturels, que celui obtenu sur sol ferrugineux (tableau 48). Sur l'ensemble des coupes, on constate la supériorité du supertriple tant sur le phosphore exporté que sur la teneur en phosphore du mil (tableau 49).

c) Coefficient d'utilisation apparent du phosphore

L'examen du tableau 50 montre que le phosphore des phosphates "humifert" et du supertriple est mieux valorisé sur sol ferrugineux que sur sol brun vertique. Pour les phosphates naturels bruts le CUA est équivalent sur les deux sols. En comparant les différentes sources, on constate une meilleure valorisation du supertriple suivi des phosphates "humifert" et enfin des phosphates naturels bruts.

En résumé les résultats obtenus dans cette étude mettent en évidence une différence entre les deux types de sol d'une part, et d'autre part, le comportement des engrais phosphatés sur chacun des sols.

Ainsi les sols ferrugineux semblent mieux valoriser les engrais phosphatés que les sols bruns vertiques. Cela est en rapport avec les propriétés physico-chimiques de ces sols (P total, P ass ; pH, nature des argiles) et des sources de phosphore (LOMPO, 1989).

Tableau 48 : Phosphore exportée par le mil en mgP/vase. Sol vertique DI. Phosphates "humifert".

	1ère coupe		2ème coupe		Σ 2 coupes		3ème coupe		Σ 3 coupes	
	mgP/ vase	indice p.c.	mgP/ vase	indice p.c.	mgP/ vase	indice p.c.	mgP/ vase	indice p.c.	mgP/ vase	indice p.c.
Témoin	2,50	23	1,68	22	4,18	22	2,39	20	6,57	21
Phosphates naturels bruts (BF)	5,98	55	5,82	75	11,80	63	7,07	59	18,87	62
Phosphates humifert (BF)	8,41	77	5,36	69	13,77	74	8,36	70	22,13	72
Phosphate supertriple (TSP)	10,89	100	7,72	100	18,61	100	11,96	100	30,57	100

Tableau 49 : Teneurs en phosphore du mil/phosphates "humifert" (en gP/100 m.s.)

	SARIA			DI		
	1ère coupe	2ème coupe	3ème coupe	1ère coupe	2ème coupe	3ème coupe
Témoin	1,33	1,05	1,22	1,40	0,97	1,40
Phosphates naturels bruts (B.F)	3,42	2,85	1,98	2,63	1,84	2,39
Phosphates humifert (B.F)	6,49	3,76	3,49	2,16	2,26	2,45
Phosphates supertriples (TSP)	10,07	5,64	4,02	3,04	3,25	3,20

Tableau 50 : Coefficient d'utilisation apparent du phosphore (CUA) phosphates "humifert"

	1ère coupe		Σ 2 coupes		Σ 3 coupes	
	SF*	SV**	SF	SV	SF	SV
Phosphates naturels bruts (BF)	4,8	3,9	9,8	8,5	13,6	13,7
Phosphates humifert (BF)	18,5	6,6	25	10,7	30,3	17,3
Phosphate supertriple (TSP)	23,3	9,3	33,3	13,5	39,6	26,7

* SF = sol ferrugineux

** SV = sol brun vertique

$$CUA = \frac{P \text{ exporté engrais} - P \text{ exporté témoin}}{P \text{ apporté engrais}}$$

Le sol brun vertique est plus riche en phosphore ce qui explique la production élevée, observée sur le témoin. Les phosphates naturels et les phosphates humiferts ont une efficacité qui décroît au fil des coupes à cause d'une possible rétrogradation du phosphore dans ce sol riche en montmorillonite.

Le phosphate humifert a une efficacité équivalente à celle du supertriple, ceci, sur les deux types de sol à cause de sa teneur élevée en phosphore soluble dans l'eau (8,11 p.c.) et de sa teneur en azote de 4,8 p.c. ce qui en fait un engrais N.P.

5.1.2. Discussions - conclusions

La solubilisation des phosphates naturels par l'action de la matière organique a été abordée sous plusieurs aspects au cours de cette étude en milieu contrôlé. Ainsi, le type de résidus culturels (paille de sorgho et de maïs, balles de riz), et le procédé d'amélioration de la solubilisation (compostages aérobie et anaérobie, utilisation d'inoculum, attaques par des oxydes d'azote) ont été étudiés à travers les caractéristiques chimiques et l'évaluation de la valeur agronomique des substrats organiques obtenus.

a) Effets des phosphates naturels sur les caractéristiques des composts

La nature des résidus de départ et la technique de compostage sont déterminantes sur la qualité finale de la matière organique. Les produits obtenus par compostage aérobie sont plus riches en bases et ont un C/N plus bas que ceux obtenus à partir du compostage anaérobie, qui nécessite une finition aérobie. Ces résultats confirment ceux obtenus par SEDOGO (1981) et LOMPO (1983 et 1989).

Le compostage en présence de phosphates naturels a permis d'améliorer la teneur en phosphore total des produits obtenus, sans relever celle en phosphore soluble. Ces résultats sont à comparer à ceux obtenus par SAMAKE (1987) qui, dans la recherche de la solubilisation des phosphates de TILEMSI à travers le compostage de paille de maïs, pense que le manque d'effet sur le phosphore soluble à l'eau peut s'expliquer, entre autres, par :

- une rétention des anions PO_4^{3-} de la solution par les ions Ca^{++} libres des phosphates naturels très abondants sur la surface des cristaux de ces phosphates qui, de surcroît ont été finement broyés.

Le pH élevé des composts peut également expliquer le faible effet des phosphates naturels sur le phosphore soluble à l'eau. En effet, selon COSTA DA SILVA et al. (1982) et MEY et al. (1986), l'affinité des cations Ca^{++} pour les anions PO_4^{3-} peuvent limiter la disponibilité du phosphore qui aurait été solubilisé.

b) Effets des composts dans le sol

Le comportement d'une manière générale des substrats organiques obtenus dépend de leurs caractéristiques et de l'activité de la microflore totale du sol. Cette activité est elle même régulée par les facteurs du milieu, tels le pH, la température, l'humidité et l'aération.

▪ Effets sur la dynamique du phosphore

Dans le sol, la matière organique influence la dynamique du phosphore. Ainsi, les fortes teneurs en phosphore assimilable observées dès le 5^e jour d'incubation des sols en présence de

phosphocomposts sont à rapporter non seulement aux phosphates naturels apportés lors du compostage, mais aussi à la minéralisation des différents composts et à l'action de la matière organique. Cette action de la matière organique fait intervenir un certain nombre de mécanismes décrits par FROSSARD (1985). Il s'agit de :

- de l'action chélatante des anions organiques (produits au cours de la minéralisation de la matière organique) qui conduit à la complexation du Fe et du Ca. Il s'ensuit une libération du phosphore retenu et/ou une impossibilité de formation de P-Fe et P-Al. Ce mécanisme est dominant dans les sols ferrallitiques (PICHOT et al., 1973) ;
- du recouvrement des colloïdes minéraux par les composés organiques, limitant ainsi la fixation du phosphore ;
- enfin de la formation d'humophosphates par liaison entre la matière organique, les ions métalliques et les ions PO_4^{3-} . L'existence de tels composés a été démontrée par FARES (1976) et GEGARRA (1978).

SAMAKE (1987) a mis en évidence différents acides organiques dont la production en cours de compostage de pailles de maïs est stimulée par l'apport de phosphates naturels. Sur les huit (8) acides identifiés, les acides acétique, succinique formique et butyrique sont, d'un point de vue quantitatif, les plus importants. Les acides oxalo-acétique, citrique, malique sont surtout produits pendant les 15 premiers jours de l'incubation. Selon GARAPIN (1989) l'efficacité des acides organiques dans la dissolution des phosphates naturels dépend de la nature et de l'activité des groupements fonctionnels (carboxydes et hydroxiles principalement) dans la formation de complexes avec le calcium. C'est pourquoi l'acide citrique est plus efficace que l'acide malique et l'acide lactique.

L'efficacité des matières humiques dans la formation des humophosphates dépend également des groupements fonctionnels capables de former des complexes avec les cations. Les matières humiques contribuent aussi à la solubilisation des phosphates naturels. En effet, FERNANDES (1988, 1989) cité par GARAPIN (1989) a mis en évidence le rôle de complexation du calcium par les acides humiques et de complexation de l'aluminium par les acides fulviques dans la dissolution des phosphates naturels de GAFSA (TUNISIE) et de THIERS (SENEGAL). Outre ce rôle de solubilisation des phosphates naturels, ces processus de complexation permettent de circonscrire la retrogradation du phosphore soluble (AMOROS, 1986, cité par GARAPIN, 1989).

Le suivi de l'évolution du phosphore assimilable fait apparaître de fortes teneurs sur les témoins sans matières organiques. Une minéralisation de la matière organique initiale des sols (que certains auteurs qualifient de "priming effet") suite à l'apport d'une fumure minérale, à dominance d'azote, constitue une explication de ce phénomène.

La dynamique du phosphore assimilable des différents sols s'est soldée par une baisse notable des teneurs en phosphore à partir du 10^e jour et par des pics. La baisse observée s'explique par la rétrogradation du phosphore, c'est-à-dire le passage vers des formes de moins en moins assimilables. Cette baisse est relativement plus importante sur le sol brun vertique, à cause de la nature des minéraux argileux. La baisse est cependant atténuée par l'apport des phosphocomposts.

L'apparition des pics serait liée soit à la minéralisation de composés organiques néoformés, soit à celle de la biomasse microbienne (SEDOGO, 1981).

- Effets sur l'aptitude à la minéralisation

Les tests respirométriques ont permis de mettre en évidence l'effet des phosphocomposts sur l'évolution de la matière organique du sol. Comme l'a si bien souligné TARDIEUX-ROCHE (1966) le dégagement de CO_2 traduit la réponse biologique à une modification du milieu (apport de substrats énergétiques).

D'une manière générale, l'incorporation des composts de pailles de maïs a eu un effet spectaculaire sur la stimulation de l'activité microbienne du sol. Les coefficients de stimulation de l'activité biologique tels que définie par TARDIEUX-ROCHE (1966), et qui sont les rapports entre les productions cumulées de CO_2 des traitements enrichis (incorporation de composts) et du témoin, sont de 1,3 et 1,80, en absence d'azote pour les composts C4 et C3 respectivement. L'apport d'azote n'améliore que les coefficients de stimulation du compost C4 et encore, rien que de façon légère (de 1,3 à 1,6) si le rapport est relatif au témoin + N et de 1,30 à 2,2 si le rapport est relatif au compost C4 (sans azote). Il ne semble pas exister de rapport entre ces coefficients de stimulation et les différentes caractéristiques des composts. TARDIEUX-ROCHE (1966) est arrivé à une conclusion identique en étudiant l'influence de différents types de sol en présence de phosphates naturels sur les activités respiratoires. Il conclut en impliquant plus la composition de la microflore que les caractéristiques des sols.

L'aptitude à la minéralisation de différents types de matières organiques a été étudiée par de nombreux auteurs, dont KOTTO (1980) ; SEDOGO (1981 et 1993) et HIEN (1990). Ils ont tous mis en exergue une phase de croissance et une autre de baisse de l'activité des microorganismes. La phase de croissance correspond à une dégradation intense des composés les moins stables (glucides hydrosolubles et hydrolysables). La phase de baisse est

liée au ralentissement de l'activité biologique, consécutif à l'épuisement des composés facilement dégradables. L'apparition des pics s'explique elle, par la minéralisation différentielle de composés hydrosolubles, de celluloses, de lignine et de produits néoformés. Ce comportement de substrats organiques est lié à leurs caractéristiques chimiques et biochimiques notamment le C/N. Les substrats à C/N bas minéralisent plus rapidement. C'est certainement ce qui explique que le compost C4, produit en présence de phosphates naturels, avec un C/N de 22 minéralise moins que C3 (C/N = 19) en absence d'azote.

c) Valeur agronomique des composts

L'incorporation des composts d'une façon générale a eu un effet positif sur la production de matière sèche et sur le phosphore exporté par la plante test. Ainsi donc il y a eu une amélioration de la nutrition phosphatée du mil, suite à la minéralisation des différents composts. Cette minéralisation est sous le contrôle des microorganismes du sol et des conditions du milieu. Sur sols ferrugineux et ferrallitiques, ces conditions ont favorisé les interactions de nature associative entre le mil et les microorganismes. Ces interactions non compétitives, à l'interface sol-racine, comme le souligne GARAPIN (1989) peuvent favoriser la mobilisation par la plante des ions phosphoriques absorbés sur la phase solide.

La sécrétion d'acides organiques par les racines joue également un rôle important dans la solubilisation des phosphates insolubles et donc peut contribuer à améliorer la nutrition des plantes. Sur sol brun vertique, les caractéristiques physiques (teneur élevée en argile de type montmorillonite) et son pouvoir fixateur élevé, favorisent plus les interactions compétitives ou "indifférentes" entre la microflore et la plante.

Cette compétition ou cette indifférence suite aux apports de composts se traduit par des effets non significatifs sur la production de matière sèche et par un coefficient d'utilisation apparent du phosphore plus faible.

La tentative d'améliorer la solubilisation des phosphates naturels par leur incorporation lors des compostages a permis d'obtenir des résultats très intéressants, même si le dispositif ne permettait pas d'en élucider les mécanismes.

Mais quels sont les effets d'une association phosphates naturels et fumier sur les rendements, et les caractéristiques du sol ? En un mot quels intérêts (agronomiques et économiques) a-t-on à préconiser une telle association dans les systèmes de production que nous connaissons au Burkina Faso ? C'est pour répondre à ces questions qu'un dispositif au champ a été mis en place.

5.2. ETUDE AU CHAMP DE L'ASSOCIATION PHOSPHATES NATURELS-MATIERE ORGANIQUE.

5.2.1. Résultats

5.2.1.1. Evolution des rendements

a) Evolution des rendements des traitements principaux (tableau 51 ; figure 17)

Les rendements ont connu une baisse importante dès la deuxième année de culture (1983). Cette baisse est de 60 p.c. sur le témoin absolu ; l'apport de phosphore, toutes sources confondues, a permis de la réduire à 39 p.c.

En comparant les traitements avec phosphore, il ressort que la fumure annuelle de phosphates naturels avec apport de fumier et la fumure NPK vulgarisée sont les traitements qui ont entraîné les plus faibles baisses de production dès la deuxième année avec 50 p.c. de réduction. Les baisses enregistrées sur les autres traitements sont : 62 p.c. et 52 p.c. pour les fumures annuelle et de correction (avec ou sans fumier).

Après neuf années d'expérimentation, les baisses moyennes de rendement (par rapport au rendement de l'année de mise en culture, 1982) s'établissent comme suit :

- fumure vulgarisée : 73 p.c.
- phosphates naturels/fumure annuelle : 62 p.c.
- témoin absolu : 50 p.c.
- phosphates naturels/fumure annuelle
+ fumier : 42 p.c.
- phosphates naturels/fumure de correction : 28 p.c.
- phosphates naturels/fumure de correction
+ fumier : 12 p.c.

Tableau 51 : Essai phosphate naturel/matière organique Saria/P8. Evolution des rendements en kg/ha (1982-1990).

Années et cultures Traitements	1982 Sorgho		1983 Sorgho		1984 Sorgho		1985 Sorgho		1986 Sorgho		1987 Sorgho		1988 Sorgho		1989 Arachide	1990 Sorgho		Moyenne Sorgho	
	Grain	Paille	Grain	Paille	Grain	Paille	Grain	Paille	Grain	Paille	Grain	Paille	Grain	Paille	Gousses	Grains	Paille	Grains	Paille
1. témoin absolu	1173	4031	471	2375	404	2463	243	1113	175	312	069	844	175	1825	558	586	1286	407	1721
2. NPK vulgarisé	1544	5708	769	3203	909	4144	658	3538	771	2406	380	2042	944	4250	823	416	2830	760	3524
3. BP fumure annuelle	1335	5218	509	2626	742	3089	512	2919	472	1677	313	1688	965	3800	703	510	2058	693	2900
4. BP fumure annuelle + fumier	1670	6015	834	3245	816	3706	685	3069	783	2828	386	1875	850	3538	683	972	1930	887	3095
5. BP correction	1593	5197	762	3068	952	3881	701	3229	301	1219	497	2516	463	3552	783	1142	2958	802	3220
6. BP correction + fumier	1580	5697	763	3417	864	3656	772	3150	986	3990	763	3203	835	3896	740	1388	3472	1034	3768

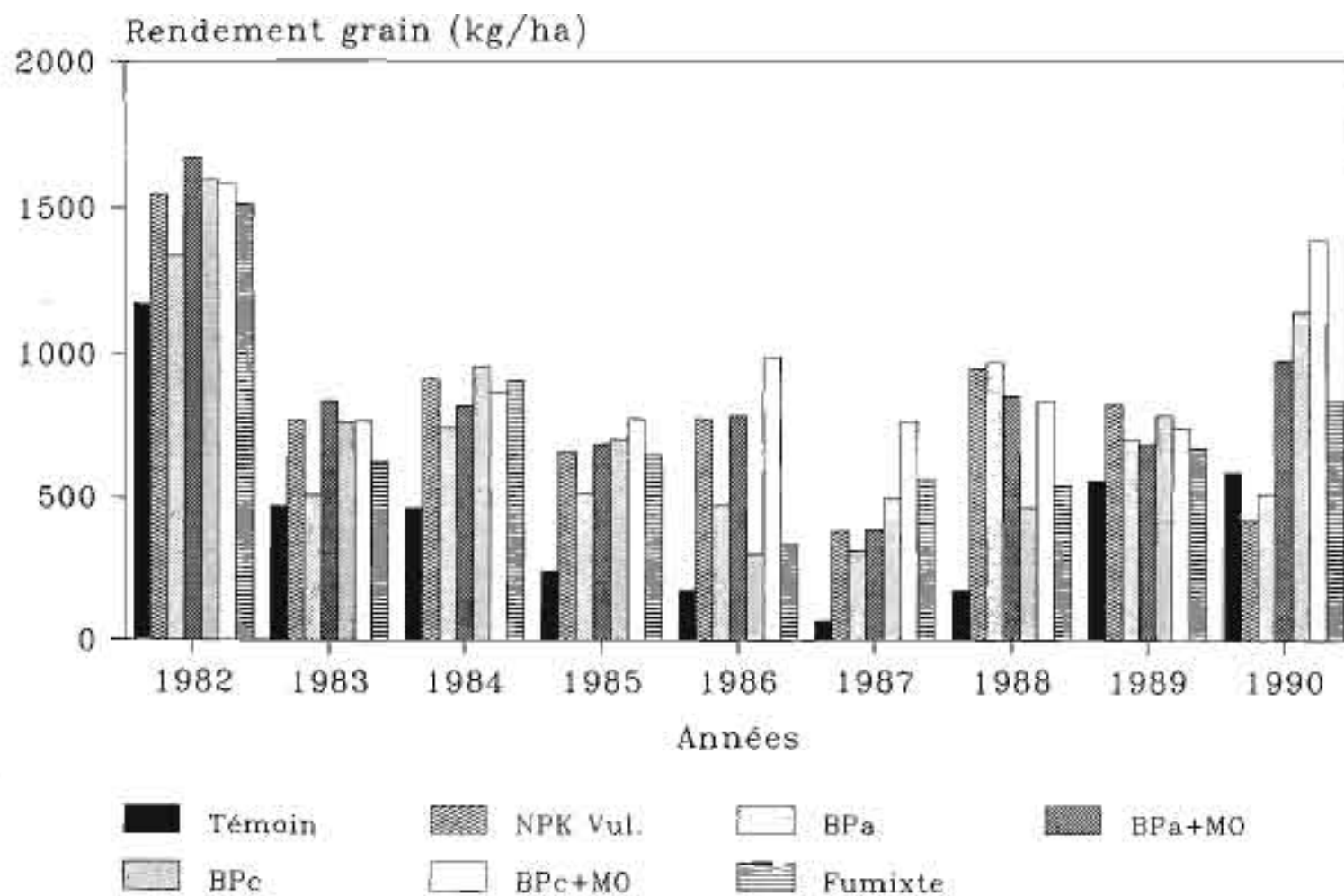


Fig. 17: Evolution des rendements grain (82-90)

Culture = Sorgho sauf 1989 (arachide)

Cependant lorsqu'on compare les rendements des différents traitements, obtenus en 1990, à celui du témoin absolu, l'année de mise en culture, c'est-à-dire 1982, on se rend compte que la fumure de correction est la meilleure. Cette fumure en présence de fumier a même permis d'obtenir un surplus de rendement de 18 p.c. par rapport au témoin absolu (1982). Appliquée sans fumier, la baisse de rendement n'est que de 3 p.c. Les réductions de rendement sont de 17 et 57 p.c. sur les traitements fumure annuelle avec et sans fumier. La plus forte baisse est observée avec la fumure NPK vulgarisée (64 p.c.).

En résumé, on peut dire que l'apport du fumier a eu un effet tampon sur la baisse de rendement observée dès la deuxième année d'expérimentation.

Dès la première année, les effets des traitements sont significatifs. De façon générale les fumures à base de phosphates naturels associés ou non au fumier sont équivalentes à la fumure vulgarisée. L'effet direct du fumier est très net en présence de la fumure annuelle de phosphates naturels ; le surplus obtenu par rapport à celle-ci est de 25 p.c. Il n'y a pratiquement pas d'effet direct du fumier avec la fumure de correction, sauf sur les rendements paille.

Les effets directs du fumier, en présence de la formule de fumure de correction n'ont été positifs, par rapport à ladite formule, que deux fois sur cinq (1988 et 1990). Par contre en arrière effet du fumier, la formule fumure de correction est très intéressante, en particulier pour les années 1985 et 1987 au cours desquelles les conditions pluviométriques (pluviosité totale et nombre de jours de pluie) étaient défavorables.

Les effets directs du fumier en présence de la formule de fumure annuelle sont toujours positifs avec des surplus de rendements de 25 p.c. (1982), 10 p.c. (1984), 66 p.c. (1986) et 91 p.c. (1990).

Après neuf années d'expérimentation, les meilleurs rendements moyens en grains sont obtenus avec les formules de fumure associant le fumier aux phosphates naturels, en application de correction (1034 kg/ha) et annuelle (887 kg/ha). Le rendement moyen du témoin absolu est de 407 kg/ha contre 802 kg/ha pour la fumure de correction, 760 kg/ha pour la fumure vulgarisée.

Le rendement moyen obtenu avec la fumure annuelle de phosphates naturels est plus faible (693 kg/ha), mais supérieur à celui du témoin.

b) Evolution des rendements suite à l'apport de dolomie (tableau 52)

▪ Effets directs de la dolomie

La dolomie a un effet direct positif sur les rendements grain sur tous les traitements, à l'exception de BpC + fumier (figure 18a). Cet effet est surtout notable sur le témoin absolu (+ 183 p.c.). Pour les autres traitements les surplus sont : 31 p.c. pour la fumure de correction ; 29 p.c. et 22 p.c. pour la fumure annuelle avec et sans fumier.

Sur les rendements paille (fig 18b) les effets directs de la dolomie sont plus faibles.

D'une manière générale, l'apport de dolomie semble avoir affecté l'action du fumier sur la fumure de correction de phosphates naturels. En effet, l'apport de dolomie sur ce traitement a réduit son rendement grain de 13 p.c., en conservant cependant la supériorité du traitement par rapport à la fumure de correction seule en présence de dolomie.

Tableau 52 : Essai phosphate naturel-matière organique Saria P8. Evolution des rendement en kg/ha (effet et arrière effet de la dolomie) ; 1988-1990

Années et cultures Traitements	1988 Sorgho				1989 Arachide CN 94C		1990 Sorgho				Moyenne Sorgho			
	Grain		Paille		Gousses		Grain		Paille		Grain		Paille	
	(-)	+	(-)	+	(-)	+	(-)	+	(-)	+	(-)	+	(-)	+
1. témoin absolu	175	495	1825	2050	558	560	586	586	1286	2700	381	541	1556	2375
2. NPK vulgarisé	944	1118	4250	4469	823	956	416	1806	2830	3216	680	1462	3540	3843
3. BP fumure annuelle	965	1175	3800	4584	703	833	510	694	2058	3858	738	935	2929	4221
4. BP fumure annuelle + fumier	850	1100	3538	4825	683	869	972	1080	1930	3986	911	1090	2734	4406
5. BP correction	463	605	3552	4263	783	867	1142	1370	2958	4630	803	988	3255	4447
6. BP correction + fumier	835	728	3896	4525	740	840	1388	1672	3472	3600	1112	1200	3684	4063

(-) sans dolomie

(+) avec dolomie

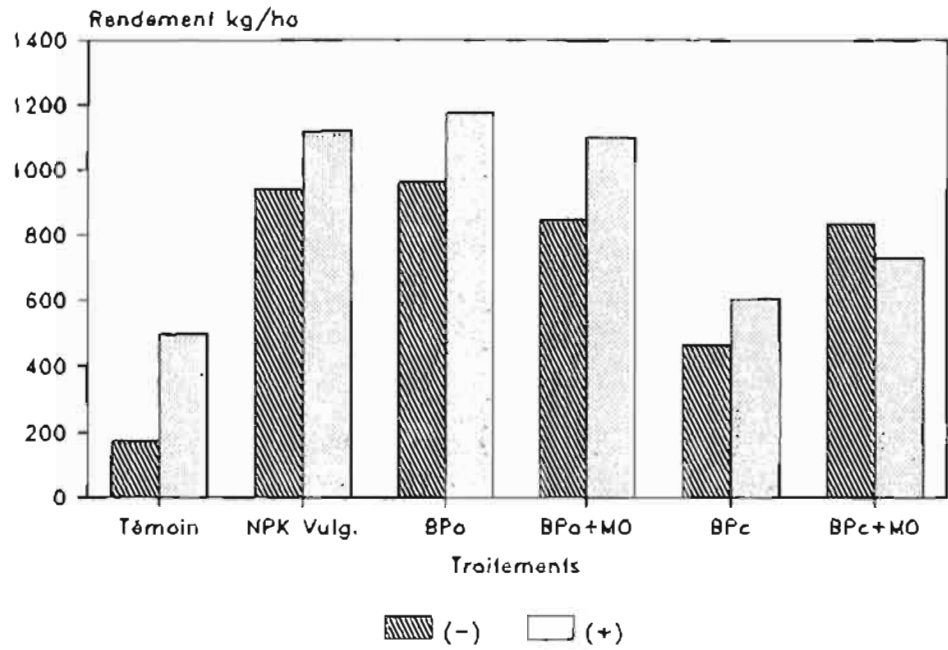


Fig 18 a: Effets Directs Dolomie sur sorgho grain

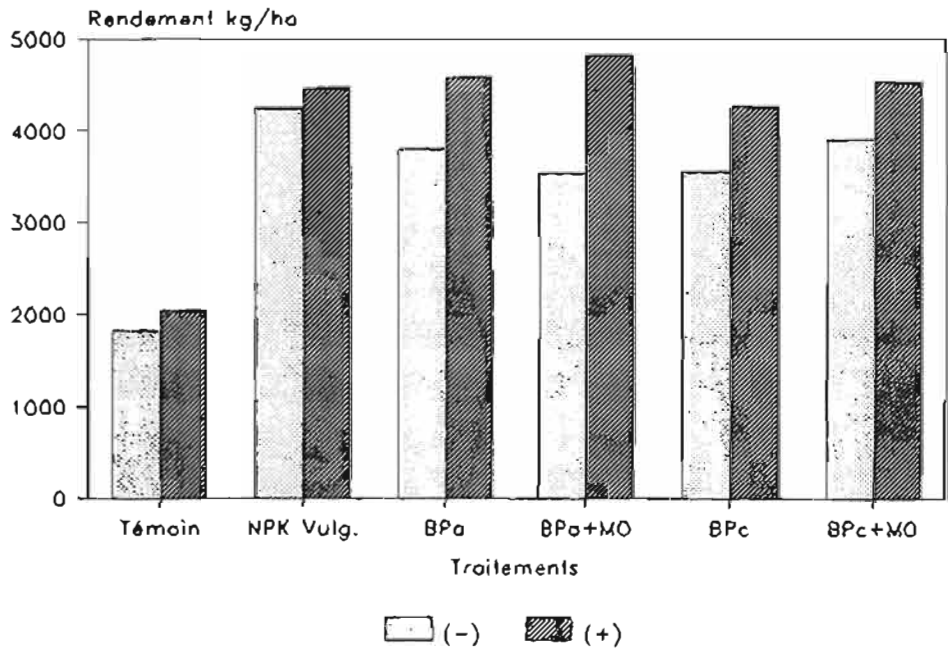


Fig 18 b: Effets Directs Dolomie sur sorgho paille)

▪ Arrières effets de la dolomie

* Sur arachide (fig 19)

La première année de l'arrière effet est positive sur les rendements coque de l'arachide et surtout avec le traitement BPa + fumier (+27 p.c. par rapport au même traitement sans dolomie). En comparant les différents traitements avec dolomie, et le témoin + dolomie, on note des arrières effets très importants avec NPK vulgarisé (+71 p.c.). Les autres traitements ont également des arrières effets positifs : +49 p.c. (BPa), +50 p.c. (BPC + fumier) et +55 p.c. (BPa + fumier et BPC).

* Sur sorgho (fig20a et 20b)

Deux ans après l'apport de dolomie, les arrières effets semblent plus importants sur la fumure vulgarisée et dans une moindre mesure avec la fumure de correction. Les arrières effets de la dolomie ont été meilleurs à ceux observés sur l'arachide en première année.

c) Evolution de la productivité du kilogramme de phosphore engrais

Ce concept de productivité du kilogramme de phosphore engrais, dans le contexte de cette expérimentation, est très intéressant parcequ'il s'agit de comparaison de formules de fumure apportant différentes quantités de phosphore. Le tableau 53 permet de dire que les plus fortes valeurs de cette productivité sont obtenues avec les traitements NPK vulgarisé (33 kg grains/kg P_2O_5 en moyenne) et la fumure de correction de phosphates naturels associée au fumier (33 kg/kg P_2O_5).

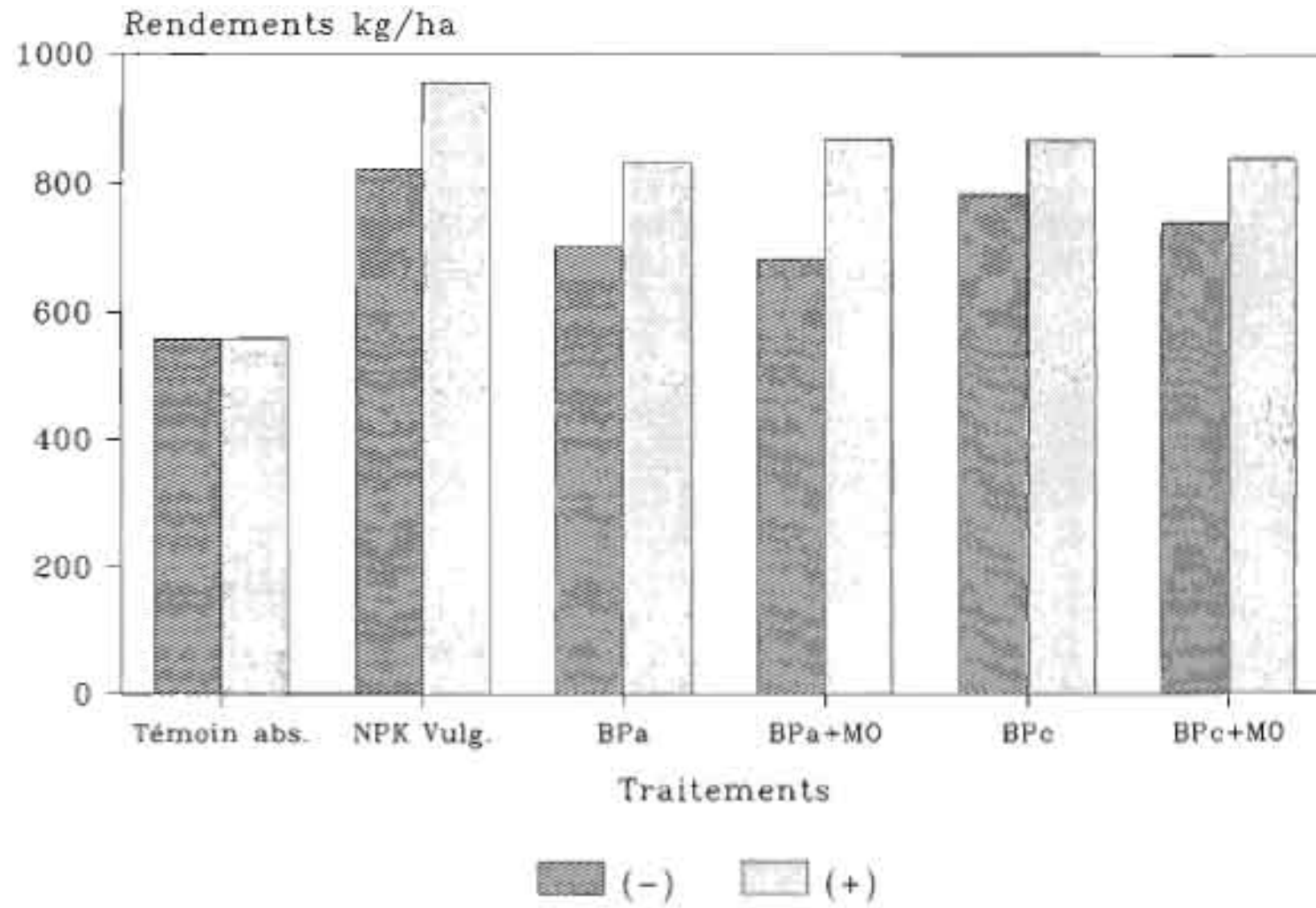


Fig 19 : Arrière Effet Dolomie sur arachide (1989)

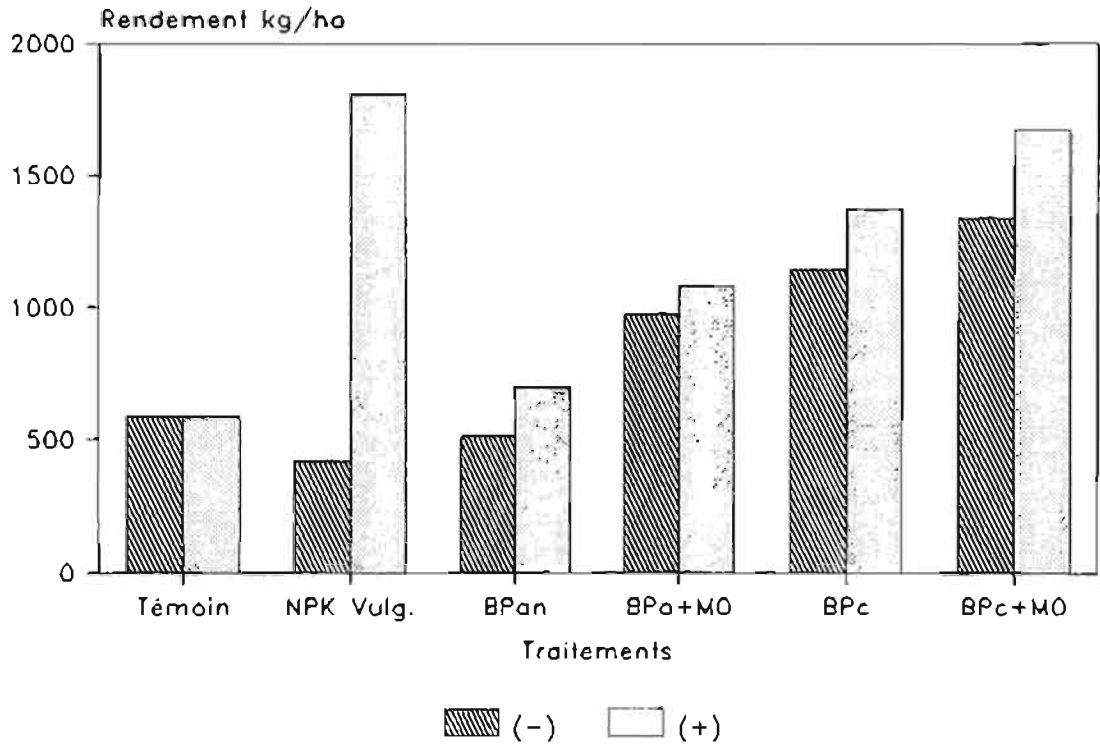


Fig. 20 a: Arrière Effet Dolomie sur sorgho grain

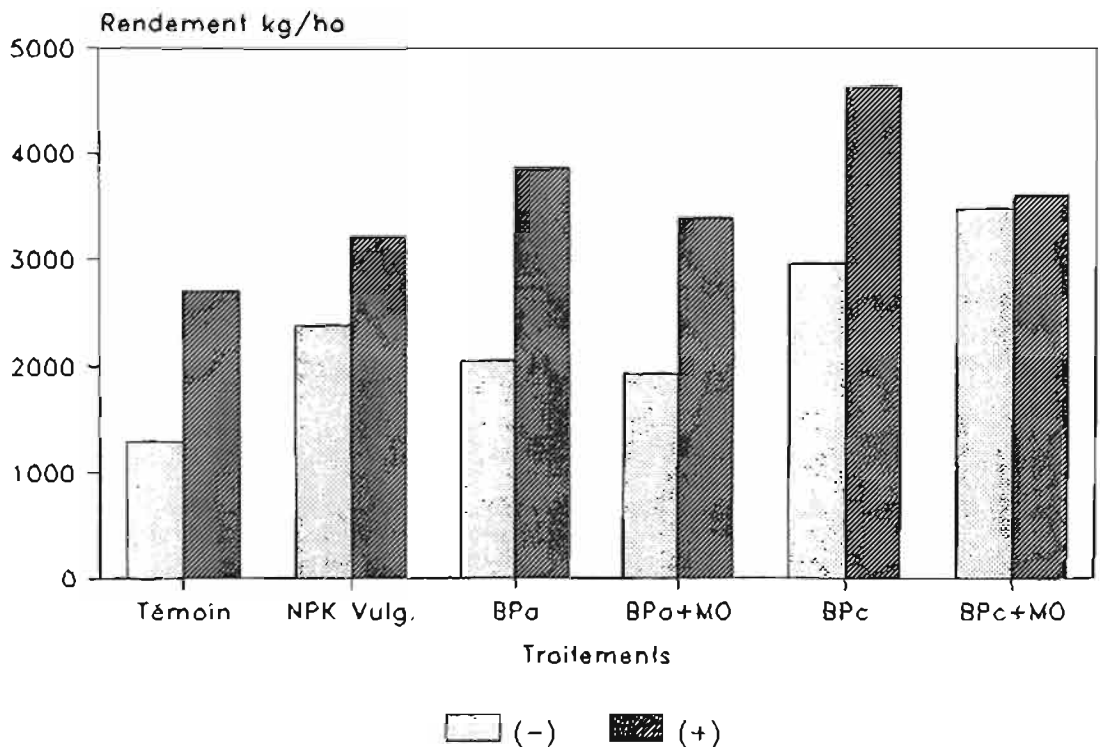


Fig.20 b: Arrière Effet Dolomie sur sorgho paille

Tableau 53 : Evolution de la productivité du kilogramme de phosphore engrais (en kg grain/kg P₂O₅)

	NPK vulgarisé	Fumure annuelle phosphates naturels	Fumure annuelle phosphates naturels + fumier	Fumure de correction	Fumure de correction + fumier	Fumure mixte
1982*	67	26	33	16	15	41
1983	33	10	16	30	31	17
1984*	40	15	16	38	35	24
1985	29	10	13	28	31	17
1986*	34	9	15	12	39	9
1987	17	6	8	19	31	15
1988*	41	19	17	19	33	15
1989 (arachide)	36	14	13	31	30	18
1990*	19	10	19	46	56	23
Moyenne	33	13	17	27	33	20

* : années d'apport du fumier.

Avec le traitement "fumure de correction" on obtient 27 kg grains/kg P_2O_5 . Les plus faibles valeurs sont observées avec la fumure annuelle de phosphates naturels sans fumier (13 kg grain/kg P_2O_5) et avec fumier (17 kg grain/kg P_2O_5).

Ainsi donc l'apport de matières organiques (fumier en l'occurrence) a permis d'améliorer la productivité du phosphore des phosphates naturels du Burkina. La formule "fumure de correction" est particulièrement intéressante en présence de fumier puisqu'elle permet de concurrencer l'engrais NPK, qui est une source de phosphore soluble.

L'apport de dolomie, à partir de 1987, a permis d'améliorer les productivités des différentes sources de phosphore (tableau 54). En moyenne cette amélioration est de 43 p.c. avec NPK, 22 et 20 p.c. avec la fumure annuelle de phosphates naturels sans et avec fumier, 7 et 16 p.c. avec la fumure de correction associée ou non au fumier.

Tableau 54 : Evolution de la productivité du kilogramme de phosphore engrais. Effet de la dolomie (en kg grain/kg P₂O₅). Essai phosphates-matière organique/Saria P8.

	NPK vulgarisé	Fumure annuelle phosphates naturels	Fumure annuelle phosphates naturels + fumier	Fumure de correction	Fumure de correction + fumier	Fumure mixte
1988*	49 (41)	23 (19)	22 (17)	24 (19)	29 (33)	27 (15)
1989	41 (36)	16 (14)	17 (13)	35 (31)	34 (30)	26 (18)
1990*	79 (19)	14 (10)	21 (19)	55 (46)	67 (56)	27 (23)
Moyenne	56 (32)	18 (14)	20 (16)	38 (32)	43 (40)	27 (19)

* : années d'apport du fumier.

() : productivité du kg de phosphore sur les traitements sans dolomie.

5.2.1.2. Evolution des bilans minéraux

a) Evolution du bilan du phosphore (tableau 55 à 58)

Le bilan du phosphore est négatif uniquement sur le témoin absolu. Les formules de fumure à base de phosphates naturels l'améliorent largement surtout lorsqu'on y ajoute du fumier.

Les bilans les plus intéressants sont obtenus avec les apports annuels de phosphates naturels en associant ou non le fumier.

Lorsqu'on considère leur évolution (tableau 57), on remarque que sur le témoin absolu c'est surtout la première année qui est fortement déficitaire. Sur les traitements NPK et la fumure annuelle de phosphates naturels, le bilan s'améliore nettement la deuxième année, mais ne varie pas beaucoup par la suite ; il semble s'établir un équilibre. Le même phénomène est observé sur le traitement "fumure de correction" mais en sens inverse : le bilan décroît de façon très sensible dès la deuxième année et se stabilise, à un niveau inférieur à celui observé avec la fumure annuelle, mais équivalent à celui de NPK vulgarisé. Ce fait semble lier aux quantités de phosphore apportées, lesquelles sont plus élevées avec la fumure annuelle (51 kg P_2O_5 /an). L'apport de fumier aux deux formules entraîne un bilan positif plus élevé les années d'apport. Les arrières effets du fumier sur le bilan du phosphore sont plus faibles, surtout avec la fumure de correction.

L'apport de dolomie a profondément modifié les bilans du phosphore (tableau 58), qui restent cependant négatif sur le témoin et positif sur les autres traitements.

Tableau 55 : Bilan théorique du phosphore sur l'essai phosphate (1982 - 1987).

Traitements	Production totale grain kg/ha	Quantité de phosphore exportée (plantes) kg/ha (1)	Quantité de phosphore lixiviée kg/ha (2)	Quantité totale de phosphore exportée kg/ha (1)+(2)=(3)	Quantité totale de phosphore apportée/les engrais kg/ha (4)	Quantité totale de phosphore apportée/le fumier kg/ha (5)	Quantité totale de phosphore apportée/les pluies kg/ha (6)	Quantité totale de phosphore apportée (4) +(5)+(6)=(7)	Bilan théorique de phosphore kg/ha (7)-(3)
Témoin absolu	2595	18	6	24	-	-	12	12	- 12
NPK vulgarisé	5031	35	6	41	138	-	12	150	+109
BP annuel	3883	27	6	33	306	-	12	318	+285
BP annuel + m.o	5174	37	6	43	306	78	12	396	+353
BP correction	4806	33	6	39	227	-	12	239	+200
BP correction + m.o	5728	39	6	45	227	78	12	317	+272

Tableau 56 : Bilan théorique du phosphore sur l'essai phosphate (1988 - 1990).

Traitements	Production totale grain kg/ha	Quantité de phosphore exportée (plantes) kg/ha (1)	Quantité de phosphore lixiviée kg/ha (2)	Quantité totale de phosphore exportée kg/ha (1)+(2)=(3)	Quantité totale de phosphore apportée/les engrais kg/ha (4)	Quantité totale de phosphore apportée/le fumier kg/ha (5)	Quantité totale de phosphore apportée/les pluies kg/ha (6)	Quantité totale de phosphore apportée (4)+(5)+(6)= (7)	Bilan théorique de phosphore kg/ha (7)-(3)
Témoin (-)	1319	9	3	12	-	-	6	6	- 6
absolu (+)	1641	11	3	14	-	-	6	6	- 8
NPK (-)	2183	16	3	19	69	-	6	75	+ 56
vugarisé (+)	3880	28	3	31	69	-	6	75	+ 44
BP (-)	2178	16	3	19	153	-	6	159	+140
annuel (+)	2702	19	3	22	153	-	6	159	+137
BP annuel+ (-)	2505	18	3	21	153	52	6	211	+190
m.o (+)	3049	22	3	35	153	52	6	211	+186
BP (-)	2388	16	3	19	75	-	6	81	+ 62
correction(+)	2842	20	3	23	75	-	6	81	+ 58
BP (-)	2963	21	3	24	75	52	6	133	+109
correction (+)	3240	23	3	26	75	52	6	133	+107

(-) sans dolomie

(+) avec dolomie

Tableau 57 : Evolution des bilans en phosphore de l'essai phosphates naturels naturels-matière organique Saria - P8 (1982-1987) en kg/ha

Années	Témoin absolu		NPK vulgarisée		BP annuel		BP annuel + m.o		BP correction		BP correction + m.o	
	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
1982*	-7		+13		+43		+66		+92		+118	
1983	-2		+19		+48		+46		+21		+21	
1984*	-2		+18		+47		+72		+19		+46	
1985	-1		+19		+48		+47		+21		+21	
1986*	0		+19		+49		+73		+24		+45	
1987	0,5		+21		+50		+49		+23		+21	

* Année d'apport du fumier

Tableau 58 : Evolution des bilans en phosphore de l'essai phosphates naturels naturels-matière organique Saria - P8 (1988-1990) en kg/ha

Années	Témoin absolu		NPK vulgarisée		BP annuel		BP annuel + m.o		BP correction		BP correction + m.o	
	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
1988*	0	-2	+17	+16	+45	+44	+72	+70	+23	+22	+46	+47
1989	-3	-3	+18	+17	+47	+46	+47	+46	+21	+20	+21	+20
1990*	-3	-3	+21	+11	+48	+47	+71	+70	+18	+16	+42	+40

* Années d'apport du fumier

(-) sans dolomie

(+) avec dolomie

En effet, la dolomie a réduit le bilan de phosphore, tout comme s'il se produisait une baisse du phosphore restant dans le sol et donc une utilisation plus élevée du phosphore apporté. Cette baisse est plus accentuée sur le NPK vulgarisé (-10) ; elle est relativement plus faible sur la "fumure annuelle + fumier" (-4) la "fumure de correction" (-4) ; la "fumure annuelle" (-3) ; la "fumure de correction + fumier" (-2) et le "témoin absolu" (-2).

b) Evolution du bilan du calcium
(tableaux 59 à 62)

Il est négatif sur le témoin absolu, et sur la fumure NPK vulgarisé (-7. et -48 respectivement) ; et positif sur les autres traitements, en particulier ceux qui connaissent des apports de fumier (tableau 61). Comme dans le cas du phosphore, le bilan de calcium est fortement négatif dès la première année de culture. Sur le témoin absolu, il est positif de la 4^e à la 6^e année (1985-1986) pour redevenir négatif les trois dernières années de l'expérimentation.

Par contre, avec la fumure NPK vulgarisée, le bilan est quasi négatif durant toute la durée de l'étude, à l'exception de l'année 1990 où les apports semblent compenser les exportations. Le niveau de rendement et partant la quantité de calcium exportée expliquent ce phénomène.

Sur les autres traitements les bilans varient très peu à partir de la deuxième année, à l'exception des traitements avec apport de fumier où il est observé un accroissement, les années d'apport de cette matière organique.

Tableau 59 : Bilan théorique du calcium sur l'essai phosphate naturels -
matière organique/Saria - P8 (1982 -1987)

Traitements	Production totale grain kg/ha	Quantité de calcium exportée (plantes) kg/ha (1)	Quantité de calcium lixiviée kg/ha (2)	Quantité totale de calcium exportée kg/ha (1)+(2)=(3)	Quantité totale de calcium apportée/les engrais kg/ha (4)	Quantité totale de calcium apportée/le fumier kg/ha (5)	Quantité totale de calcium apportée/les pluies kg/ha (6)	Quantité totale de calcium apportée kg/ha (4)+(5)+(6) = (7)	Bilan théorique de calcium kg/ha (7)-(3)
Témoin absolu	2595	35	72	107	-	-	108	108	+ 1
NPK vulgarisé	5031	71	72	143	-	-	108	108	- 35
BP annuel	3883	54	72	126	360	-	108	468	+342
BP annuel + m.o	5174	72	72	144	360	132	108	600	+456
BP correction	4806	67	72	139	270	-	108	378	+239
BP correction + m.o	5728	81	72	153	270	132	108	510	+357

Tableau 60 : Bilan théorique du calcium sur l'essai phosphates naturels -
matière organique/Saria- P8. (1988 - 1990)

Traitements		Production totale grain kg/ha	Quantité de calcium exportée (plantes) kg/ha (1)	Quantité de calcium lixiviée kg/ha (2)	Quantité totale de calcium exportée kg/ha (1)+(2)=(3)	Quantité totale de calcium apportée/les engrais kg/ha (4)	Quantité totale de calcium apportée/le fumier kg/ha (5)	Quantité totale de calcium apportée/les pluieskg/ha (6)	Quantité totale de calcium apportée (4)+(5)+(6)= (7)	Bilan théorique de calcium kg/ha (7)-(3)
Témoin	-	1319	18	36	54	-	-	54	54	0
absolu	+	1641	23	36	59	405	-	54	459	+400
NPK	-	2183	31	36	67	-	-	54	54	- 13
vugarisé	+	3880	54	36	90	405	-	54	459	+369
BP	-	2178	31	36	67	180	-	54	234	+167
annuel	+	2702	38	36	74	585	-	54	639	+565
BP annuel	-	2505	36	36	72	180	88	54	322	+250
+ m.o	+	3049	45	36	81	585	88	54	727	+646
BP	-	2388	33	36	69	90	-	54	144	+ 75
correction	+	2842	39	36	75	495	-	54	549	+474
BP correction	-	2963	41	36	77	90	88	54	232	+155
+ m.o	+	3240	45	36	81	495	88	54	637	+556

(-) sans dolomie

(+) avec dolomie

La dolomie a un effet spectaculaire sur les bilans en calcium, en particulier sur le témoin absolu et la fumure NPK vulgarisée. Les fumures annuelles de phosphates naturels ont les bilans les plus élevés. Lorsque l'on considère leur évolution (tableau 62), il ressort que sur le témoin et la fumure NPK vulgarisée, l'effet dolomie n'est positif que l'année de son apport. Le bilan redevient négatif, dès la première année de l'arrière effet. Sur les autres traitements, malgré une chute brutale et importante, les bilans restent positifs. Les valeurs atteintes alors sont presque équivalentes à celles observées sur les mêmes traitements sans dolomie.

Tableau 61 : Evolution des bilans en calcium de l'essai phosphates naturels naturels-matière organique. Saria - P8 (1982-1987) en kg/ha

Années	Témoin absolu	NPK vulgarisée	BP annuel	BP annuel + m.o	BP correction	BP correction + m.o
1982*	-10	-16	+47	+97	+104	+148
1983	- 1	- 5	+59	+54	+ 25	+ 25
1984*	0	- 7	+56	+99	+ 23	+ 68
1985	+ 3	- 3	+59	+56	+ 26	+ 25
1986*	+ 4	- 5	+59	+99	+ 32	+ 66
1987	+ 5	+ 1	+62	+61	+ 21	+ 25

* Années d'apport du fumier

Tableau 62 : Evolution des bilans en calcium de l'essai phosphates naturels naturels-matière organique Saria - P8 (1988-1990) en kg/ha

Années	Témoin absolu		NPK vulgarisée		BP annuel		BP annuel + m.o		BP correction		BP correction + m.o	
	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
1988*	+ 4	+404	- 7	+392	+52	+455	+ 98	+497	+30	+433	+68	+475
1989	- 2	- 2	- 6	- 7	+56	+ 54	+ 56	+ 54	+25	+ 24	+26	+ 24
1990*	- 2	- 2	0	- 19	+59	+ 56	+110	+ 95	+20	+ 17	+61	+ 57

* Années d'apport du fumier

(-) sans dolomie

(+) avec dolomie

5.2.1.3. Evolution de quelques caractéristiques chimiques du sol
(tableau 63)

a) Evolution du carbone et de l'azote total

De 1982, année de mise en place du dispositif, à 1991, soit dix ans après, le taux de carbone est passé de 0,82 p.c. à 0,17 p.c. sur le témoin absolu, soit une baisse annuelle de 8 p.c. Sur les autres traitements, les baisses moyennes annuelles s'établissent comme suit :

NPK	:	7 p.c.
Fumure annuelle de phosphates naturels	:	7 p.c.
Fumure "- "- + fumier	:	6 p.c.
Fumure de correction de phosphates naturels	:	7 p.c.
Fumure "- "- + fumier	:	7 p.c.

Ainsi, sur les fumures "annuelle" et "de correction" à partir de phosphates naturels, on enregistre une baisse de taux de carbone identique à celle observée avec la fumure NPK.

Les apports de fumier ont permis de réduire cette baisse de l'ordre de 1 p.c. uniquement avec la fumure annuelle.

L'apport de dolomie a permis de relever le taux de carbone de tous les traitements, à l'exception des traitements associant le fumier aux fumures à base de phosphates naturels. Les augmentations du taux de carbone sont de 0,02 p.c. sur le témoin absolu et la "fumure de correction", 0,05 p.c. sur NPK vulgarisé et 0,08 p.c. sur la "fumure annuelle". Par contre les baisses enregistrées sont de 0,01 p.c. et 0,02 p.c. respectivement sur "fumure de correction + fumier" et "fumure annuelle + fumier".

Tableau 63 : Essai phosphates naturels. Matière organique.
Saria P8. Caractéristiques chimiques du sol (1991)

Eléments Traitements	pH eau		C. Total %		N. Total %.		Phosphore				Bases échangeables en meq/100g				CEC	
	(-)	+	(-)	+	(-)	+	P. Total ppm		P. ass. ppm		Ca		Mg			
							(-)	+	(-)	+	(-)	+	(-)	+		
	(-)	+	(-)	+	(-)	+	(-)	+	(-)	+	(-)	+	(-)	+	(-)	+
Témoin absolu	4,5	4,9	0,17	0,19	0,42	0,03	197	224	1,42	0,53	1,67	2,15	0,34	0,48	3,96	7,27
NPK vulgarisé	4,2	5,2	0,21	0,26	0,20	0,15	198	222	3,40	3,15	1,29	2,03	0,23	0,49	5,07	5,30
BP fumure annuelle	5,0	5,1	0,21	0,29	0,19	0,12	252	253	4,78	3,57	2,15	2,27	0,34	0,47	4,51	5,00
BP fumure annuelle + fumier	4,8	5,5	0,28	0,26	0,17	0,12	241	274	6,79	4,20	2,42	2,47	0,38	0,56	4,00	4,85
BP correction	5,0	5,6	0,20	0,22	0,14	0,08	215	231	5,71	4,20	2,16	2,47	0,38	0,45	5,57	4,76
BP correction + fumier	5,2	5,3	0,25	0,24	0,09	0,08	222	234	6,30	2,59	2,16	2,48	0,31	0,58	3,74	5,06
Sol départ (1982)	5,5		0,82		0,21						1,70		0,68		2,83	

(-) : sans dolomie

+ : apport dolomie

La dolomie a augmenté la production de matière sèche totale et par conséquent a entraîné une augmentation de la masse racinaire. Il s'en est suivi probablement une augmentation des exsudats racinaires et conséquemment une élévation du taux de carbone. La baisse constatée sur les fumures associant le fumier et les phosphates naturels pourrait s'expliquer par une plus grande minéralisation de la matière organique suite aux apports de fumier, de calcium et de magnésium comme le laisse d'ailleurs suggérer les teneurs en azote total qui sont plus faibles sur ces deux traitements.

Les teneurs en azote ont baissé, surtout avec les apports de dolomie, traduisant ainsi l'effet du calcium et du magnésium tant sur la quantité que sur l'activité des microorganismes.

b) Evolution du phosphore

▪ Le phosphore total

Les parcelles recevant les phosphates naturels en fumure annuelle avec ou sans fumier ont les teneurs les plus élevées en phosphore total. Ces teneurs sont moins élevées sur les traitements "fumure de correction". La fumure NPK vulgarisée n'améliore pas le statut du phosphore.

L'effet de la dolomie est surtout notable sur les traitements fumure annuelle + fumier, le témoin absolu et la fumure NPK vulgarisée. La dolomie est presque sans effet sur le phosphore total du traitement "fumure annuelle".

▪ Le phosphore assimilable

Entre 1987 et 1991 les teneurs en phosphore assimilable ont varié suivant les traitements :

- elles ont baissé sur les traitements suivants :

NPK vulgarisé	: - 34 p.c.
témoin absolu	: - 28 p.c.
fumure annuelle	: - 8 p.c.

- par contre elles ont connu une augmentation sur les traitements "fumure de correction" en association ou non avec le fumier (+ 37 p.c. et + 28 p.c. respectivement) et sur "la fumure annuelle + fumier" (+ 59 p.c.).

Ainsi donc, l'apport de phosphates naturels réduit dans le pire des cas les baisses de phosphore assimilable du sol. A cet égard, les formules "fumure de correction" et "fumure annuelle" surtout associées au fumier sont les meilleurs moyens d'améliorer la teneur du sol en phosphore assimilable.

L'apport de calcium a pour conséquence une baisse généralisée des teneurs en phosphore assimilable consécutive à une liaison chimique entre P et Ca qui réduit la solubilisation du phosphore.

Ces baisses, par rapport aux traitements sans dolomie sont particulièrement élevées sur le témoin absolu (- 63 p.c.) la fumure de correction + fumier (- 59 p.c.) et fumure annuelle + fumier (- 38 p.c.). Elles sont moyennes sur les fumures annuelles et de correction (25 et 26 p.c.) et plus faibles sur la fumure NPK vulgarisée (- 7 p.c.).

c) Evolution des bases échangeables
et de la CEC

A l'exception du NPK vulgarisé, tous les autres traitements ont eu des effets positifs sur le calcium et le magnésium du sol. L'effet le plus important est obtenu avec les effets annuels des phosphates naturels en présence de fumier.

L'apport de dolomie a nettement amélioré les teneurs du sol en Ca et Mg, surtout sur les traitements apportant les phosphates naturels et le fumier.

d) Evolution du pH

De 1982 à 1991, on observe une baisse générale du pH. Cette baisse qui traduit une acidification du milieu est, très élevée sur la fumure NPK (-1,3 unités) et sur le témoin (-1 unité). Elle est moyenne sur la fumure annuelle associée ou non au fumier (-0,7 et -0,5 unité) et plus faible sur la fumure de correction (-0,5 unité), surtout lorsque cette dernière est associée au fumier (-0,3 unité).

Ainsi donc et comme l'ont montré SEDOGO et al. (1988) le fumier est le meilleur remède face à l'acidification du sol, comparativement aux phosphates naturels du Burkina.

L'effet dolomie est notable sur l'augmentation du pH, ce qui contribue à expliquer la baisse du phosphore assimilable observée suite à l'apport de dolomie. Cette élévation du pH est plus sensible sur la fumure NPK vulgarisée (+ 1 unité) et la fumure de correction (+ 1 unité), elle est moyenne à plus faible sur la fumure annuelle + fumier (+0,7 unité), le témoin absolu (+0,3), la fumure annuelle (0,3) et enfin la "fumure de correction + fumier (+0,1).

La dolomie de Tiara a donc un effet sur le pH du sol.

5.2.2. Discussions - conclusions

L'analyse des effets, au champ, de l'association phosphates naturels et fumier révèle sa pertinence tant sur l'augmentation durable des rendements que sur l'amélioration de certaines caractéristiques physico-chimiques du sol.

a) Effets sur les rendements et sur les bilans minéraux

Malgré une baisse générale des rendements, observée sur tous les traitements, l'apport de fumier l'atténue. En effet avec cet apport, les baisses sont réduites de 32 p.c. avec BPa et de 57 p.c. avec Bpc. SEDOGO (1981 et 1993) et HIEN (1990) ont déjà relaté l'effet "tampon" de la matière organique. Comparativement aux autres traitements, les fumures associant phosphates naturels et fumier, permettent d'obtenir des niveaux de rendement assez élevés et relativement plus stables, ainsi que des bilans minéraux largement positifs pour le phosphore et le calcium.

L'apport du fumier améliore en outre la productivité du kilogramme de phosphore engrais, surtout celui provenant de la fumure de correction. Les effets bénéfiques de cette association sont à relier d'une part, à l'influence des phosphates naturels sur la minéralisation du fumier dans le sol et d'autre part à l'influence du fumier sur la dynamique des ions PO_4^{3-} dans le sol.

La dolomie a des effets positifs surtout sur le témoin. Son apport a par contre réduit l'efficacité du fumier. L'augmentation de la concentration en calcium du sol, suite à cet apport, pourrait avoir provoqué une alimentation déficiente du sorgho en phosphore, consécutive à une insolubilisation du phosphore soluble.

En effet, AMOROS et al. (1986) ont montré que l'ajout de calcium au sol, conduit à une diminution de la teneur en phosphore soluble, quel que soit le pH. Ces auteurs pensent que c'est le déplacement des équilibres entre le calcium et les espèces phosphatées dans la solution qui est à l'origine de cette diminution.

b) Effets de l'association phosphates et fumier sur certaines caractéristiques du sol

Les différentes formules de fumure testées ont permis d'améliorer certaines caractéristiques physico-chimiques du sol. Ainsi l'apport du fumier aux formules à base de phosphates naturels a permis de relever de façon notable les teneurs en phosphore assimilable. Ainsi passe-t-on de 4,78 à 6,79 avec BPa, soit une augmentation de 42 p.c. et de 5,71 à 6,30 avec BPc, soit une augmentation de 10 p.c. Cet effet favorable s'explique par un certain nombre de mécanismes dont :

- la libération du phosphore au cours de la minéralisation du fumier (FROSSARD, 1985) ;

- la libération de charges électronégatives, lors de la minéralisation du fumier, lesquelles peuvent entrer en compétition avec les ions PO_4^{3-} , sur les sites de fixation de ces derniers. Cette compétition aboutit à la fixation des ions PO_4^{3-} sur des sites de plus faibles énergie, rendant ainsi leur utilisation ultérieure, par les plantes, plus facile comme le soulignent NAGARAJAH et al., 1970 ; EARL et al., 1979 ; cités par SAMAKE, 1987 ;

- la présence d'agents complexants (issus de l'activité microbiologique ou de la sécrétion des plantes) qui contribuent à la solubilisation du phosphore, par complexation du fer, de l'aluminium et du calcium (FROSSARD, 1985 ; GARAPIN, 1989) ;

- la production d'acides organiques à partir des matières organiques, qui in situ, favorisent la solubilisation des phosphates naturels.

La formation de composés appelés humophosphates et l'action des matières humiques (acides humiques et acides fulviques) favorisent la solubilisation des phosphates naturels FROSSARD (1985) et GARAPIN (1989). SEDOGO (1993) a montré la présence de ces matières humiques dans des proportions importantes, suite à des apports de 5 tonnes de fumier par hectare, tous les deux ans (AF : 22,8 p.c. du carbone total ; AH : 21,7 p.c. ; humines : 47,2 p.c.), sur un sol ferrugineux de Saria. Ces matières humiques favorisent la solubilisation des phosphates naturels dans le sol à partir de la formation de complexes avec des cations métalliques (Ca^{2+} , Fe^{3+} ou Al^{3+}) par les groupements carboxyles et hydroxyles de ces matières humiques (SCHNITZER, 1978 et 1979 ; STEVENSON, 1981 et FERNANDEZ, 1989 ; cités par GARAPIN, 1989).

L'apport de dolomie diminue le niveau de carbone, d'azote et de phosphore assimilable du sol, sur les traitements ayant reçu du fumier. Cet effet s'explique d'une part, par la forte minéralisation du fumier, et d'autre part, par la forte concentration du calcium dans la solution du sol qui insolubilise le phosphore.

5.3. CONCLUSION

Dans ce chapitre, il a été montré la pertinence de l'association phosphates naturels et fumier. Ainsi est-il possible de produire des composts enrichis à partir des

phosphates naturels dont les doses optimales et le moment opportun d'adjonction, en cours de compostage, restent à préciser. L'apport au champ des phosphates naturels et du fumier à la dose de 5t/ha tous les deux ans, montre un effet bénéfique sur les rendements et sur leur stabilité et une amélioration des teneurs du sol en carbone et en phosphore assimilable. On note également un effet important sur le pH du sol. Ces effets sont la résultante d'un ensemble de facteurs et de mécanismes dont l'approfondissement est à envisager dans de futurs travaux, en s'inspirant davantage du statut du phosphore sur le dispositif pérenne de suivi de l'évolution de la fertilité du sol de Saria.

CHAPITRE VI. INTERET ECONOMIQUE DE L'ASSOCIATION PHOSPHATES NATURELS ET MATIERE ORGANIQUE

INTRODUCTION

L'hypothèse de l'amélioration de la solubilisation des phosphates naturels, à partir de leur association avec la matière organique, s'est révélée intéressante à travers les expérimentations en milieux contrôlés et au champ. Il s'agit donc d'une méthode efficace d'un point de vue agronomique, mais dont la rentabilité économique reste à prouver. L'objectif de ce chapitre est d'étudier cet aspect, à travers une analyse économique des résultats d'expérimentation au champ.

D'une manière générale, la rentabilité économique des engrais sur céréales est très aléatoire au Burkina Faso. Il n'existe pas de filière "céréales" à l'instar de la filière coton. De ce fait, les réseaux lâches d'encadrement et de distribution des engrais, la destination des productions céréalières (plus pour l'autoconsommation que pour la commercialisation), les conditions d'accès au crédit, et la politique des prix sont autant de facteurs à reconsidérer si l'on veut promouvoir la production céréalière.

6.1. LES DONNEES DE BASE

Les rapports entre les prix des produits agricoles et ceux des engrais, ainsi que la rémunération du travail, sont considérés comme les facteurs essentiels dans la rentabilité économique de l'utilisation des engrais.

a) Les prix des engrais

Le tableau 64 donne l'évolution des prix des engrais (NPK et urée) vulgarisés entre 1981 et 1990. Cette évolution montre une réduction progressive du taux de la subvention et par conséquent une augmentation du prix de vente au producteur. Le prix de vente des phosphates naturels de Kodjari n'a pratiquement pas varié depuis 1983, et reste bien en deçà du prix de revient.

Il est également important de noter que compte tenu des coûts de distribution, les prix des engrais sont variables d'une région à l'autre. Dans la présente étude cette variabilité régionale n'est pas prise en compte.

Les prix de la dolomie et du fumier sont estimés respectivement à 25 et 1 FCFA/kg.

b) Les prix du sorgho

Les prix officiels des produits agricoles sont fixés annuellement après les récoltes par l'ETAT. Le tableau 65 donne l'évolution du prix officiel du sorgho blanc. Il s'agit des prix d'achat minimum aux producteurs. Il existe des variations saisonnières et spatiales qui ne sont pas considérées dans cette étude.

Tableau 64 : Evolution des prix des engrais de 1980/1981 à 1989/1990
(en F CFA/kg)

	NPKS		UREE		Phosphates naturels (BP)
	P.V	T.S (P.C)	P.V	T.S (P.C)	
1980/1981	40	58	45	-	10
1981/1982	40	64	45	-	10
1982/1983	55	54	60	-	25
1983/1984	62	49	62	49	25
1984/1985	78	40	66	39	26
1985/1986	90	34	78	32	26
1986/1987	114	23	85	17	26
1987/1988	91	5	66	3	26
1988/1989	96	-	82	-	26
1989/1990	113	8	94	8	26

Sources : PEV (1990-1991) et IFDC (1991)

P.V. = prix de vente (subventionnés) à crédit au producteur

T.S. = taux de subvention.

Tableau 65 : Evolution des prix officiels du sorgho blanc de 1981/1982 à 1989/1990 (en F CFA/kg)

	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	86/87	87/88	88/89	89/90
Sorgho Blanc	50	58	64	80	80	40	50	45	50

Source : OFNACER.

Le prix de l'arachide durant la campagne 88-89 a été estimé à 50 F CFA/kg gousses.

c) La rémunération du travail

On utilisera ici le coût d'opportunité de la main d'oeuvre supplémentaire nécessaire, à l'épandage des différents engrais (NPK, Urée, dolomie, phosphates naturels, fumier), et à la récolte du surplus de production dû à l'utilisation des engrais. La formule suivante permet de calculer cette main-d'oeuvre pour une récolte additionnelle :

$$\frac{R - R_0}{R_0} \times \frac{40}{65} \times t$$

avec : R_0 = rendement du témoin (en kg/ha)

R = rendement du traitement expérimenté (en kg/ha)

t = temps de travaux pour récolter la parcelle témoin
(en kg/ha)

Le rapport $\frac{40}{65}$ indique qu'une augmentation du rendement du témoin de 65 p.c. suite à l'application d'une innovation, entraîne une augmentation de 40 p.c. de la main d'oeuvre pour récolter ce supplément de rendement.

Les temps de travaux utilisés dans les calculs sont les suivants :

- épandage et enfouissement (PEV, 1990)

- . engrais : 55 h/ha
- . fumier : 35 h/ha

- récolte (MATLON and FAFCHAMPS, 1988)

- . sorgho : 125 h/ha
- . arachide : 258 h/ha

La main d'oeuvre est rémunérée à 130 F/h (coût de la rémunération officielle de la main-d'oeuvre).

d) Les rendements

Les rendements utilisés dans le calcul des bénéfices bruts sont ceux obtenus en station, mais après ajustement pour tenir compte de la dérive des rendements observés en milieu paysan, due entre autres :

- à la grandeur et à l'hétérogénéité des parcelles ;

- aux techniques culturales utilisées par les paysans ;
- aux différentes pertes, au moment de la récolte et du stockage.

Le coefficient d'ajustement utilisé est fixé arbitrairement à 0,9.

6.2. RESULTATS-DISCUSSIONS

6.2.1. Bénéfices nets

Les bénéfices nets cumulés, calculés en fonction des situations sont présentés dans le tableau 66. L'évolution de ces bénéfices est donnée en annexe 8a et 8b.

La prise en compte de la main-d'oeuvre pour les travaux d'épandage, d'enfouissement et surtout de récolte, pénalise très fortement les formules de fumure testées, en particulier, la fumure NPK qui engendre une perte globale de 1293 FCFA/ha. Bien que les bénéfices nets cumulés des innovations proposées soient nettement inférieurs à celui du témoin absolu, on observe de meilleurs gains avec la formule de correction à base de phosphates naturels, en présence ou non de fumier.

Le bilan financier est par contre nettement plus favorable lorsque seules les coûts monétaires constituent les charges variables. Dans ce cas, même en situation de non subvention des engrais, les différents traitements améliorent les bénéfices nets du témoin.

Tableau 66 : Budget partiel (Essai phosphates naturels + matières organiques)
Bénéfices nets cumulés en FCFA/ha

	Bénéfices nets cumulés [sans les coûts d'opportunité (m.o)]		Bénéfices nets cumulés [y compris les coûts d'opportunité (m.o)]	
	sans coûts monétaires du fumier	avec coûts monétaires du fumier	sans coûts monétaires du fumier	avec coûts monétaires du fumier
Témoin absolu	196134 (196134)	196134 (196134)	196134 (196134)	196134 (196134)
NPK vulgarisé	275298 (229176)	275298 (229176)	45060 (-1293)	45060 (-1293)
BPa	241826 (230176)	241826 (230176)	56781 (45131)	56781 (45131)
BPa + fumier	330274 (318624)	305274 (293624)	75240 (63590)	50240 (38590)
BPc	313076 (301426)	313076 (301426)	113158 (94484)	113158 (94484)
BPc + fumier	397328 (278572)	372328 (253572)	172335 (53579)	147335 - 28579)

() bénéfices nets cumulés en situation de non subvention des engrais

BPa : phosphates naturels en fumure annuelle

BPc : phosphates naturels en fumure de correction.

Mieux encore BPa + fumier (5t/ha tous les 2 ans) BPc et BPc + fumier (5t/ha tous les 2 ans) ont un bilan financier supérieur à celui du NPK vulgarisé surtout en cas de suppression de la subvention.

L'effet de la dolomie (tableau 67) est globalement positif. Les bénéfices nets cumulés passent de 491.900F (sans dolomie) à 589.600F (avec dolomie). Cet effet est :

- très net sur la formule NPK vulgarisé, qui acidifie le plus et qui apporte peu de calcium au sol (64.100F/ha) ;
- faible avec BPa (11.100F/ha), BPa + fumier (11.950F/ha) et BPc (8650F/ha) ;
- et négatif avec BPc + fumier (-100F/ha).

6.2.2. Taux marginal de rentabilité (TMR)

Pour apprécier le gain du producteur par rapport aux investissements que nécessite l'adoption de l'une des formules de fumure expérimentées, il a été calculé le taux marginal de rentabilité dans les cas de subvention et de non subvention.

Le tableau 68 montre que dans tous les cas, les TMR les plus élevés sont obtenus avec les formules à base de phosphates naturels, surtout lorsque ces formules comportent un apport de fumier.

Tableau 67 : Budget partiel (essai phosphates naturels + matière organique) effets de dolomie sur les bénéfices nets cumulés sans coûts d'opportunité et sans coûts monétaires du fumier (1988/1990) en FCFA/ha

	Sans dolomie		Avec dolomie	
	avec subvention	sans subvention	avec subvention	sans subvention
Témoin absolu	59350	59350	61350	61350
NPK vulgarisé	60450	58100	124550	122200
BPa	74450	73600	85550	84700
BPa + fumier	89150	88300	101100	100250
BPc	90950	90850	99600	98750
BPc + fumier	117550	116700	117450	114650

L'apport de dolomie (tableau 69) améliore les TMR, à l'exception de celui de la formule BPC + fumier.

Les taux marginaux de rentabilité des formules associant les phosphates naturels et le fumier sont largement au dessus du taux minimum de rentabilité (TAMIR) généralement fixé à 40 p.c. Il représente la valeur minimale du TMR qu'un producteur exige pour adopter une innovation donnée. En effet, toute innovation implique un investissement (coût du capital) et une réorganisation de l'exploitation.

En résumé, cette analyse économique succincte a révélé un intérêt très certain pour le paysan à utiliser les formules de fumure à base de phosphates naturels, surtout en association avec du fumier à raison de 5T/ha tous les 2 ans. Dans l'hypothèse que le paysan produit son fumier à partir de ses résidus de récolte et que le coût d'opportunité de la main-d'oeuvre n'est pas pris en compte dans le calcul des bénéfices nets et des charges variables, l'association phosphates naturels et matières organiques assure des TMR, très motivants.

D'un point de vue macro-économique, les résultats de cette étude montrent que, les formules à base de phosphates naturels présentent des TMR plus élevés que ceux obtenus avec l'engrais NPK importé. Ainsi donc, ces formules permettraient d'économiser des devises.

Tableau 68 : Taux marginal de rentabilité (TMR) en p.c.

	Avec subvention	Sans subvention
Témoïn absolu	-	-
NPK vulgarisé	78	22
BPa	67	43
BPa + fumier	198	154
BPc	230	169
BPc + fumier	396	132

Tableau 69 : Effet de la dolomie sur le taux de rentabilité marginal (TMR) en p.c.

	Avec subvention		Sans subvention	
	sans dolomie	avec dolomie	sans dolomie	avec dolomie
Témoïn absolu	-	16	-	16
NPK vulgarisé	3	169	-	153
BPa	64	85	58	79
BPa + fumier	126	139	118	132
BPc	200	242	189	225
BPc + fumier	368	355	344	320

$$TMR = \frac{\text{Bénéfice net du traitement considéré} - \text{Bénéfice net}}{\text{Somme charges variables traitement considéré} - \text{Somme charges}}$$

BPa = phosphates naturels en fumure annuelle

BPc = phosphates naturels en fumure de correction

CONCLUSION GENERALE

La problématique du phosphore et celle de la matière organique dans la productivité des sols du Burkina ont été abordées à travers cette étude, avec un accent particulier sur l'association des phosphates naturels et des matières organiques. A cet effet, des dispositifs en milieux contrôlés (production de phosphocomposts, incubations et vases de végétation) et en milieu réel ont été utilisés.

Il en ressort les conclusions suivantes :

1. Les sols ferrugineux tropicaux lessivés du Plateau Central du Burkina, caractérisés par leur carence en phosphore et leur acidification dès la mise en culture, répondent de façon nette, mais variée aux engrais phosphatés. Les meilleurs rendements sont obtenus avec les sources solubles (phosphate supertriple notamment) tandis que, l'efficacité des phosphates naturels, plus faible, est améliorée par acidification partielle avec l'acide sulfurique. Ces sources de phosphore atténuent les baisses de rendement et améliorent les bilans en phosphore du sol. Cependant, seuls les engrais phosphatés les moins solubles (phosphates naturels et phosphates naturels partiellement solubilisés (UV42)) améliorent le bilan calcique des sols. Il a également été constaté un effet favorable des engrais phosphatés sur la CEC et le phosphore assimilable du sol. Par contre les effets sur le pH ne sont nets.

2. Il est possible d'améliorer l'efficacité des phosphates naturels de Kodjari en les associant avec les matières organiques :

- les tests de production de phosphocomposts à partir du compostage aérobie des pailles de sorgho et de maïs, en présence de différentes doses de phosphates naturels, ont permis d'obtenir des composts dont les caractéristiques chimiques, sont liées aux matériaux originels et sont très intéressantes, en particulier pour leurs teneurs en calcium et en phosphore. Le compostage de paille de maïs en présence d'inoculum permet de réduire la durée du compostage ; l'adjonction de phosphates naturels enrichit ces composts ;

- la valeur agronomique des phosphocomposts a été testée en milieu contrôlé et s'est révélée très intéressante ainsi :

* l'étude de l'aptitude à la biodégradation des composts de pailles de maïs, montre que les composts produits en associant les phosphates naturels ne stimulent l'activité biologique de façon importante qu'en présence d'azote ;

* le suivi de la dynamique du phosphore assimilable au cours de la minéralisation des phosphocomposts de pailles de sorgho, laisse apparaître une évolution qui dépend de la nature du sol et du type de composts. Dans tous les cas, le maximum de P assimilable est observé le 5^e jour d'incubation, surtout avec les composts produits en présence de fortes doses de phosphates naturels (100 et 80 kg P.N/litière) ;

* les tests en vases de végétation montrent à travers les productions de matières sèches, les teneurs et les exportations en phosphore, que les phosphocomposts favorisent un développement important du mil et améliorent sa nutrition phosphatée ;

- le dispositif d'étude sur l'association phosphates naturels et fumier, en place depuis 1982 à Saria, a permis de mettre en évidence l'intérêt de cette association tant sur la production que sur les caractéristiques physico-chimiques des sols et sur les plans micro et macro-économique. Les formules de fumure à base de phosphates naturels (fumure annuelle et de correction) associées à 5t fumier par ha et tous les deux ans, assurent :

- une production plus élevée, même en conditions pluviométriques défavorables ;

- un niveau de carbone, de CEC, des bases échangeables et de pH relativement satisfaisant.

3. Cette étude a également permis de vérifier la "qualité" d'amendement calco-magnésien de la dolomie de TIARA. A travers les expérimentations au champ, nous avons observé des augmentations du pH, du calcium et du magnésium, suite aux apports de dolomie. Faisant suite à l'augmentation de la croissance racinaire, consécutive à l'augmentation de la production de matière sèche totale, on observe un relèvement du taux de carbone du sol recevant la dolomie. Il faut cependant noter l'effet temporaire de ce traitement sur l'amélioration de la production végétale.

Ce travail ouvre de nouvelles perspectives de développement et de recherche dans le domaine des phosphates naturels de Kodjari :

a) Concernant le développement, les actions de vulgarisation de compostières ou de parcs d'hivernage, impliquant l'utilisation de phosphates naturels au cours de la production des composts devraient être renforcées. Un des avantages de cette recommandation est la résolution de la difficulté d'épandage des phosphates naturels, liée à sa présentation poudreuse.

Pour cela il est plus que nécessaire qu'une meilleure gestion des substrats fermentescibles soit organisée au sein des exploitations. Ainsi, les utilisations des pailles de céréales aux fins énergétiques ou de fourrage, devraient trouver des solutions, par une adoption plus importante des foyers améliorés et par l'introduction d'une sole fourragère dans les systèmes de culture. Les bois villageois et les techniques agroforestières peuvent constituer également des solutions aux problèmes énergétiques.

Ces différents aspects pourraient être pris en compte dans les différents projets de développement intégré.

En rapport avec les phosphates partiellement solubilisés, il est plus que temps que de petites unités pilotes de production soient expérimentées dans un premier temps dans les régions à forte consommation d'engrais (CRPA cotonniers : Mouhoun, Houet, Comoé). Ces unités devraient fonctionner sur la base d'attaques mixte ($H_2SO_4 + H_3PO_4$) ou complexe ($H_2SO_4 + MAP$).

b) Concernant la recherche, il est important d'arriver à une caractérisation biochimique poussée des phosphocomposts. Au préalable il faudrait définir la période optimale d'apport des phosphates naturels, au cours du processus de compostage (en début, au milieu, ou à la fin du processus). D'autres alternatives d'amélioration de la solubilisation des phosphates naturels sont restées insuffisamment exploitées au Burkina Faso. Il s'agit des voies biologiques (endomycorhizes et inoculation) qui présentent l'avantage d'agir sur la composante biologique de la fertilité des sols.

Les conditions d'utilisation efficaces de la dolomie de TIARA (types de sol, niveau optimum, granulométrie du produit, fréquences d'apport, équilibres ioniques etc.) sont à préciser.

Enfin, un important travail sur la modélisation de la fertilisation phosphatée en fonction du niveau de rendement souhaité et de la richesse du sol en phosphore assimilable, est à entreprendre au Burkina Faso. Ce travail devrait aller de paire avec une meilleure connaissance du devenir du phosphore des engrais phosphatés et des phosphocomposts par utilisation des méthodes isotopiques (P32).

BIBLIOGRAPHIE

- ARRIVETS J., 1974.** Fertilisation des variétés locales de sorgho sur sols ferrugineux tropicaux du Plateau Mossi (Haute-Volta) Doc IRAT/Haute-Volta, 34 pp.
- AMOROS B., ANDE L., LACOUT J.L., WYART J., 1986.** Influence de la matière humique sur l'évolution en solution du phosphate monocalcique C.R. Acad. Sc. Paris, T. 303, Serie II, (14) : 1355-1358.
- BADO V., 1985.** Amélioration de l'efficacité des matières organiques. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural, option Agronomie : ISP/Université de Ouagadougou, 124 pp.
- BATIONO A., CHIEN S.H., MOKWUNYE A.U., 1987.** Chemical characteristics and agronomic values of some phosphate rocks in West Africa. In : Food grain production in semi-arid africa. Meyonga J.M., BEZUNEH. T and YOUNDEOWEI A (eds) coordination office, OAU SAFGRAD, ESSEX, UK.
- BATIONO A., BAETHGEN W.E., CHRISTIANSON C.B., MOKWUNYE A.U., 1991.** Comparaison of five soil testing methods to establish phosphorus sufficiency levels in soil fertilized with water-soluble and sparingly soluble-P sources. Fertilizer Research 28 : 271-279.
- BATIONO A., MOKWUNYE A.U., 1991.** Alleviating soil fertility constraints to increased crop production in West Africa : the experience in the sahel fertilizer research 29 (1) : 195-215.

- BAZIE Y.E., 1984.** Valorisation des résidus culturaux dans la zone du Plateau Mossi. Amélioration de la qualité des composts (Station de Saria). Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural, option Agronomie. ISP/Université de Ouagadougou ; Burkina Faso, 119 pp.
- BERGER M., BELEM P.C., DAKOUO D., HIEN V., 1987.** Le maintien de la fertilité des sols dans l'Ouest du Burkina Faso et la nécessité de l'association agriculture-élevage Cot. Fib. Trop. Vol. XLII, fasc. 3 : 201-211.
- BERGER M., 1990.** La gestion des résidus organiques à la ferme *In savanes d'Afrique, terres fertiles.* Actes des Rencontres Internationales, 10-14 décembre : 293-313.
- BILOGO A., 1992.** Contribution à la valorisation agricole de différentes sources de matières organiques au Burkina Faso. Evaluation des potentialités et des caractéristiques des déchets agricoles, agro-industriels et urbains. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural, IDR/Université de Ouagadougou, 87 pp.
- BIKIENGA I.M., 1980.** Utilisation des phosphates naturels de Kodjari pour la fabrication d'engrais phosphatés. Notes et Documents voltaïques, 13 (2) : 16-24.
- BIKIENGA I.M., 1982.** Evaluation en milieu contrôlé d'engrais améliorés fabriqués à partir du phosphate de Kodjari. Projet phosphate, Ouagadougou (Haute-Volta) 22 pp.

- BIKIENGA M., SEDOGO M.P., 1983.** Utilisation des phosphates naturels de Haute-Volta : synthèse des travaux d'expérimentation sur le volta phosphate et les phosphates améliorés. IRAT/H.V 62 pp.
- BOYER Y., 1981.** Dynamique du phosphore. In : Les sols ferrallitiques. Publications ORSTOM, Tome x : 180-192.
- BONZI M., 1989.** Etude des techniques de compostage et évaluation de la qualité des composts : effets de matières organiques sur les cultures et la fertilité des sols. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural, option Agronomie, ISN / Université de Ouagadougou, 83 pp.
- BOUSQUET R., 1964.** Le gisement de calcaire dolomitique de Tiara. D.G.M., Haute-Volta.
- CHANG S.C., JACKSON M.L., 1957.** Fractionation of soils phosphorus. Soil Sci. 83 : 133-144.
- CHARREAU C., 1972.** Problèmes posés par l'utilisation agricole des sols tropicaux par des cultures annuelles. L'Agron Trop. 27 (9) : 903:928.
- CIRAD-TECHNIFERT, 1992.** Etude de la préfaisabilité pour une production d'engrais au Burkina Faso à partir de phosphates de Kodjari. Doc. Ronéo 91 pp.
- COSTA DA SILVA J.M., LACOUT J.L., DOUX C., ANDRE L., 1982.** Influence des anions oxaliques sur la solubilisation d'un phosphate apatitique. C.R. Acad. Sci. Paris, T. 295 Série II : 823-825.

- DABIN B., 1974.** Evolution des phosphates en sols acides des régions tropicales. Science du sol (2) : 87-104.
- DABIN B., 1980.** Les matières organiques dans les sols. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 18 (3-4) : 197-215
- DOGUI R., 1986.** Efficacité des engrais phosphatés sur les sols du Gabon. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'Agronomie Tropicale, CNEARC, 58 pp.
- DUPONT DE DINECHIN B., DUMONT C., 1967.** La fumure phosphatée des cultures vivrières en Haute-Volta. Rapport IRAT 23 pp.
- EDMEADES D.C., WHEELER D.M., PRINGLE R.M., 1990.** Effects of liming on soil phosphorus availability and utilization. In : Phosphorus requirements for sustainable in Asia and Oceania. Proceedings of a symposium, IRRI : 255-267.
- FARDEAU J.C., JAPPE J., 1980.** Choix de la fertilisation phosphorique des sols tropicaux : emploi du phosphore 32. L'Agron. Trop. 25 (3) ; 225-231.
- FARDEAU J.C., 1981.** Cinétique de dilution isotopique et phosphore assimilable des sols. Thèse de Doct. Etat. Université Pierre et Marie curie, Paris VI, 198 pp.
- FARES F., 1976.** Contribution à l'étude du phosphore associé à la matière organique des sols. Thèse Doct. Etat INPL NANCY, 218 pp.

- FROSSARD F., 1985.** Etude expérimentale de l'influence de composés organiques sur l'évolution des ions phosphates en sol ferrallitique. Thèse Doct. Etat INPL, Nancy, 109 pp.
- GEGARA J., METCHE M., JACQUIN F., 1978.** Contribution à l'étude des complexes organo-cationiques phosphorés présents dans les sols. C.R. Acad. Sci. Paris, T. 287, série D : 451-454.
- GANRY F., GUEYE F., 1978.** Etude du compostage des résidus de récolte et de leur valeur agronomique avant et après compostage, de leur valorisation possible par fixation de N₂. CNRA Bambey-Sénégal. 25 pp (document interne).
- GARAPIN G., 1989.** Influence de molécules organiques et de matière humique sur la solubilisation d'une hydroxyapatite. Thèse de Doct. 3e cycle. INP de Toulouse. Mention: Production et traitement des matières premières végétales, 118 pp.
- GUILLOBEZ S., 1985.** Carte des milieux naturels du Burkina Faso. Doc. IRAT-CIRAD, Montpellier.
- GUINKO S., 1984.** Végétation de Haute-Volta. Thèse de Doctorat es Sciences Naturelles, Université de Bordeaux II, T1 et 2, 399 pp.
- HIEN V., 1990.** Pratiques culturales et évolution de la teneur en azote organique utilisable par les cultures dans un sol ferrallitique du Burkina Faso. Thèse de Doctorat INPL Nancy-France. Spécialité sciences agronomiques ; option Agro-pédologie, 149 pp.

- HIEN V., YOUL S., SANON K., TRAORE O., KABORE D., 1992.** Rapport de synthèse des activités du volet expérimentation du Projet Engrais Vivriers 1986-1991. Résultats agronomiques et évaluations économiques des formules d'engrais à moindre coût pour les céréales, 184 pp.
- IFDC., 1977.** West Africa Fertilizer study. Vol I, Regional overview ; vol. IV, Upper Volta.
- IFDC, 1991.** Approvisionnement, commercialisation et demande des engrais au Burkina Faso. Library of Congress cataloging in publication DATA, 149 pp.
- JENNY H., 1965.** Sols et problèmes de fertilité en Haute-Volta. L'Agron. Trop. 20 (2) : 220-243.
- KABORE P.D., 1988.** Analyse économique de la gestion de la fertilité des sols au Burkina Faso. Thèse Doct. 3e cycle en Sciences Economiques (Economie Rurale) CIRES/Université d'Abidjan, 206 pp.
- KAMBOULE Y.P., 1984.** Arrière-effets des phosphates naturels et des phosphates améliorés à Gampéla, de 1981 à 1984. Mémoire de fin de cycle Ingénieur des Techniques du Développement Rural, ISP/UNiversité de Ouagadougou, 67 pp.

- KOMARUDDIN I., 1990.** Utilisation de phosphates naturels indonésiens dans des sols acides : caractérisation physico-chimique et biologique de deux minéraux phosphatés et d'un amendement calcaire indonésiens en vue de leur application agricole.
Thèse Doct. Université Montpellier II. Spécialité : Biologie et physiologie des organismes et des populations, 153 pp.
- KOTTO J.S., 1980.** Contribution à l'étude de la bio-dégradation de différents types d'apports organiques dans un sol ferrallitique sableux ; interférence sur les mécanismes d'agrégation.
Thèse Doct.-Ingénieur ; Université de Nancy I, INPL/France, 133 pp.
- LOMPO F., 1983.** Problématique de la matière organique dans la zone du Plateau Mossi. Etude de la disponibilité des résidus cultureux et de leur mode de transformation. Mémoire de fin d'études. ISP / Université de Ouagadougou, 108 pp.
- LOMPO F., SEDOGO P.M., 1986.** Utilisation des phosphates naturels dans l'optique d'une fertilisation phosphatée. Doc RONEO/INERA, 54 pp.
- LOMPO F., 1989.** Effets des phosphocomposts sur la dynamique du phosphore assimilable dans quatre sols du Burkina et sur la production de matière sèche du mil (*Pennisetum glaucum*).
Mémoire de DEA d'écologie végétale. Option végétale ; FAST-Université Nationale de Côte d'Ivoire, 94 pp.

- McClellan G.H., NOTHOLT A.J.G., 1986.** Phosphate deposits of tropical sub-saharan Africa. In : Management of nitrogen and phosphorus fertilizers in sub-saharan Africa. Proceedings of a symposium. IFDC, LOME, Ed. by Mokwunye au and Vlek P.L.G., pp. 173-223.
- MATLON P.J., FAFCHAMPS M., 1988.** Crop Budgets for three agroclimatic zones of the West African Semi-Arid Tropics ICRISAT/Resource Management Program ; Economics Group ; Progress Report 85, 381 pp.
- MEY P., SAYAGE D., ANDRE L., 1986.** Solubilisation de roches phosphatées par voie chimique ou microbiologique. C.R. Acad. Agri. Fr. 72 (1) : 81-89.
- MICHEL M., 1987.** Le compost. Gestion de la matière organique. Paris, France. François DUBUSC, 954 pp.
- MOKWUNYE A.U., CHIEN S.H., RODES E., 1986.** Phosphate reactions with tropical african soils. In : Management of nitrogen and phosphorus fertilizers in sub saharian africa. MOKWUNYE A.U. and VLEK PLG (eds.) MARTINUS NIJHOFF Publischer.
- MORANT P., 1985.** L'utilisation des phosphates naturels de Kodjari et de la matière organique dans la fertilisation des systèmes de culture au Burkina Faso. Mémoire de DEA de sciences agronomiques. INPL-Nancy, France, 58 pp.

- NAGY J.G., OHM H.W., SAWADOGO S., 1988.** Burkina Faso. A case study of the Purdue University/SAFGRAD Farming Systems Project.
PERDUE University.
- NANEMA C., 1990.** Contribution à la caractérisation de la fertilité organique des sols dans quatre zones agroclimatiques du Burkina Faso.
Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural, IDR/UO, 62 pp.
- NGAMINE J., 1990.** Etude des effets des inoculations dans la pratique du compostage : appréciation de la maturité et de la valeur fertilisante des composts obtenus.
Mémoire de fin d'études ISN/IDR/Université de Ouagadougou, 78 pp.
- OUATTARA B., 1990.** Etude des effets de divers substrats organiques sur les propriétés physico-chimiques d'un sol ferrugineux tropical du Burkina Faso. Mémoire de DEA d'Ecologie tropicale, option végétale ; FAST-Université Nationale de Côte d'Ivoire, 62 pp.
- OUEDRAOGO S., 1984.** Etude des pratiques de fertilisation et de la fertilité des sols dans deux villages. Saria/Plateau Mossi ; Goin - Pays Samo.
Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural ; option Agronomie ISP/Université de Ouagadougou, 119 pp.
- PALLO F., 1982.** Influences de la culture de mil sur 3 pédons situés entre Fada N'Gourma et PIEGA (Haute-Volta).
Ecologie méditerranéenne, T. VIII, Fasc. 4.

- PAUL I., 1988.** Caractérisation physico-chimique et évaluation de l'efficacité agronomique de phosphates bruts ou partiellement acidifiés provenant d'Afrique de l'Ouest. Thèse Doctorat INPL, Spécialité : sciences agronomiques ; option : sciences géologiques, 296 pp.
- PEV, 1991.** Rapport de synthèse des activités, campagne 90/91, 64 pp.
- PICHOT J., ROCHE P., 1972.** Phosphore dans les sols tropicaux. L'Agron. Trop. 27 (9) : 940-965.
- PICHOT J., BURDIN S., TRUONG B., 1973.** Evolution du phosphore dans un sol ferrallitique soumis à différents traitements agronomiques. L'Agron. Trop. 28 (2) : 131-139.
- PICHOT J., TRUONG B., BEUNARD P., 1979.** L'action des phosphates naturels d'Afrique et l'Ouest sur l'absorption du phosphore par l'agrostis et sur le phosphore isotopiquement diluable (valeur L.) dans cinq sols tropicaux. In : Isotopes and radiations in research on soil-plant relationships. Proceedings symp. FAO-AIEA Colombo - Ed. AIEA Vienne, pp. 463-477.
- PICHOT J., SEDOGO P.M., POULAIN J.F., ARRIVETS J., 1981.** Evolution de la fertilité d'un sol ferrugineux tropical sous l'influence de fumures minérales et organiques. L'Agron. Trop. 36 (2) : 122-133.
- PICHOT J., TRUONG B., TRAORE A., 1952.** Influence du chaulage sur la solubilisation et l'efficacité des phosphates naturels tricalciques d'Afrique de l'Ouest. Etude en milieu contrôlé sur un sol ferrallique de Madagascar. L'Agron. Trop. 37 (1) : 56-67.

- PIERI C., 1984.** Conduite de la fertilisation des cultures vivrières en zone semi-arides. In : La sécheresse en zone intertropicale, pour une lutte intégrée. Actes du colloque "Résistance à la sécheresse en milieu intertropical : quelles recherches pour le moyen terme ?", pp. 363-381.
- PIERI C., 1989.** Fertilité des terres de savanes : bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du sahara.
Ministère Français de la Coopération et du Développement et CIRAD-IRAT, Paris, 444 pp.
- POULAIN B., BURDIN S., PICHOT J., 1973.** Effets des principaux éléments autres que l'azote sur les rendements des cultures vivrières de base : sorgho, mil, maïs, au Sénégal et en Haute-Volta. Doc. IRAT, Haute-Volta, 31 pp.
- Projet phosphate, IVRAZ-IRAT, 1983.** Synthèse des résultats de recherches sur les phosphates naturels de Haute-Volta; 1976-1982, 51 pp.
- PRUDENCIO Y.C., 1987.** Quelques mécanismes d'ajustement des systèmes de production agricole au Burkina Faso. Implications pour la recherche et le développement agricole. Extrait de "Food grain production in semi-arid Africa". Proceedings of International Drought symposium", SAFGRAD.
- QUILFEN J.P., MILLEVILLE P., 1983.** Résidus de culture et fumure animale : un aspect des relations agriculture-élevage dans le nord de la Haute-Volta. L'Agron. Trop. 38 (3) : 206-212.

- REIJ C., 1983.** L'évolution de la lutte anti-érosive en Haute-Volta depuis l'indépendance. Vers une plus grande participation de la population. Insitute for Environment Studies. Free University Amsterdam.
- ROUSSES S., VAN VLIET-LANDE D., 1983.** Etude de la matière organique de différentes fractions granulométriques d'un sol sableux tropical. Effet d'un amendement organique (compost). Cah. ORSTOM sér. Pédol. 20 (3) : 223-238.
- ROOSE E., 1981.** Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétation naturelle ou cultivée. Paris. Travaux et Documentation de l'ORSTOM n°130, 569 pp.
- ROY A.H., McCLELLAN G.H., 1986.** Processing phosphate ores into fertilizers. In : Management of nitrogen and phosphorus fertilizers in sub-saharan Africa. Proceedings of a symposium. IFDC, LOME Ed. by Mokwunye and Vlek P.L.G., pp. 244-281.
- SAMAKE F., 1987.** Contribution à la valorisation du phosphate naturel de Tilemsi (Mali) par l'action d'acides minéraux et de composés organiques humifiés. Thèse Doct. - Ingénieur. INPL, Nancy, France, 198 pp.
- SCHULTZ J., 1986.** Sulfuric acid-based partially acidulated phosphate rock. Its production, Cost, and use ; IFDC T. 31.

- SEDOGO M.P., 1981.** Contribution à l'étude de la valorisation des résidus culturaux en sol ferrugineux et sous climat tropical semi-aride. Matière organique du sol, nutrition azotée des cultures. Thèse Doct.-Ingénieur, INPL Nancy, 135 pp.
- SEDOGO P.M., 1982.** Utilisation agricole des phosphates naturels de Haute-Volta. Synthèse des résultats de recherche. IVRAZ/IRAT, 9 pp.
- SEDOGO P.M., BIKIENGA I.M., OUATTARA D., 1983.** Utilisation des phosphates naturels de Haute-Volta. Synthèse des premiers résultats. Bulletin trimestriel d'information scientifique et Technique du CNRST, 14 (2) : 30-40.
- SEDOGO M.P., LOMPO F., GUIRA T., 1988.** Etude des effets des divers apports organiques et minéraux sur l'acidité d'un sol ferrugineux lessivé de Saria. Doc. INERA/CNRST, 27 pp.
- SEDOGO M.P., LOMPO F., BADO B.V., HIEN V., 1989a.** Rôle spécifique de la matière organique dans l'évolution des sols sous culture. Communication présentée à la 7e conférence internationale de l'IFOAM, 3-7 janvier 1989, Ouagadougou, 30 pp.
- SEDOGO M.P., LOMPO F., BADO B.V., 1989b.** Gestion de la fertilité des sols en milieu aride. Rev. Res. Amélior. Prod. Ag. milieu aride, (1) : 199-207.
- SEDOGO M.P., LOMPO F., BADO B.V., HIEN V., 1989c.** Les techniques de recyclage des résidus culturaux. Communication présentée à la 7e conférence internationale de l'IFOAM, 3-7 janvier 1989, Ouagadougou, 23 pp.

SEDOGO M.P., LOMPO F., 1989d. Amélioration de la qualité des composts issus de la filière biogaz. INERA/IBE, 55 pp (document interne).

SEDOGO M.P., LOMPO F., HIEN V., ASIMI S., DAKOUO D., BADO B.V., 1992. Gestion de la matière organique. Communication au comité technique national de Recherches Agricoles sur la gestion des eaux et des sols pour une agriculture durable ; 24-27 mars 1992, Ouagadougou, 33 pp.

SEDOGO M.P., 1993. Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture : incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse de Doct. Etat, FAST, Université Nationale de Côte d'Ivoire, 285 pp.

SEGDA Z., 1991. Contribution à la valorisation agricole des résidus de culture dans le Plateau Central du Burkina Faso : inventaire des disponibilités en matière organique et étude des effets de l'inoculum MICRO 110 IBF. Mémoire d'Ingénieur des Sciences Appliquées, IPR/KATIBOUGOU, 100 pp.

SEMENT G., 1983. La fertilité des systèmes culturaux à base de cotonnier en Côte d'Ivoire. Neuf années d'expérimentation et d'observations multilocales (1973-1982). Coton, fibres Trop. Ser. Documents, Etudes et Synthèses, n°4, 40 pp.

SOME L., 1989. Diagnostic agropédoclimatique du risque de sécheresse au Burkina Faso.

Etude de quelques techniques agronomiques améliorant la résistance pour les cultures de sorgho, de mil et de maïs. Thèse Doctorat ; spécialité : physiologie, Biologie des organismes et des populations, option : agronomie, 312 pp.

SOURABIE N., 1979. Influence de la canne à sucre sur les sols de Bérégadougou (Haute-Volta). Cas particulier des facteurs de fertilité liés à la matière organique. Thèse Doct. 3e cycle, Université d'Aix, Marseille III, 130 pp.

TARDIEUX-ROCHE A., 1966. Contribution à l'étude des interactions entre phosphates naturels et microflore du sol. Première et deuxième parties. Ann. Agro. 17 (4) : 403-471.

TRINQUARD R., 1967. Sondage et cubage du gisement de calcaire dolomitique de Tiara. D.G.M. ; Haute-Volta.

TRUONG B., BURDIN S., PICHOT J., 1973. Etude des effets résidus résiduels du phosphore dans deux sols ferrallitiques, par diverses méthodes analytiques (chimiques et isotopiques). L'Agron. Trop. 28 (2) : 147-154.

TRUONG B., 1978. Efficacité d'une fumure phospho-organique dans le sol de Dior de Bambey (SENEGAL) en vases de végétation. IRAT, 5 pp (document interne).

TRUONG B., PICHOT J., BEUNARD P., 1978. Caractérisation et comparaison des phosphates naturels tricalciques d'Afrique de l'Ouest en vue de leur utilisation directe en agriculture. L'agron. Trop. 33 (2) : 136-145.

TRUONG B., 1984. Etude des phosphates naturels partiellement attaqués, Haute-Volta et Togo. Compte rendu des résultats expérimentaux 1983 ; Rapport IRAT, Montpellier, 20 pp.

TRUONG B., 1989. Evaluation de l'efficacité agronomique des phosphates naturels provenant d'Afrique de l'Ouest. Thèse Doctorat INPL. Spécialité : sciences agronomiques ; option : fertilisation des sols, 160 pp.

VELLY J., ROCHE P., 1974. Arrière action des fumures de redressement phosphatées sur divers types de sols de Madagascar. L'Agron. Trop. 19 (5) : 592-606.

ANNEXES

Annexe 1 : Caractéristiques des phosphates naturels de Kodjari

a) Composition chimique des phosphates naturels du Burkina Faso en p.c.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅ total	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	Perte au feu
26,93	5,70	3,73	23,08	0,30	32,79	0,26	0,16	0,69	0,11	0,07	5,17

b) Analyse chimique des différentes fractions du phosphore du Burkinaphosphate

p.c. P ₂ O ₅ total	p.c. P ₂ O ₅ soluble-eau	p.c. P ₂ O ₅ soluble- citrate
23,08	0,03	8,02

c) Données cristallographiques du Burkinaphosphate

Paramètres		CO ₂ Apatitique	SO ₂ Apatitique
"a"	"c"	p.c.	p.c.
9,366	6,891	1,37	1,27

Formule empirique Lehr et Mac Clellan

Ca 9,93 Na 0,05 Mg 0,02 PO₄ 5,77 CO₃ 0,23 F 2,09

Annexe 2 : Principales caractéristiques des produits partiellement solubilisés à partir du phosphate du Burkina-Faso (résultats communiqués par la TIMAC)

	Echantillon	MHS p.c.	H ₃ PO ₄ p.c.	MAP p.c.	Concentration finale de l'acide p.c.	P ₂ O ₅ t p.c.	P ₂ O ₅ S.E. p.c.	P ₂ O ₅ S.C. p.c.	Ratio	Taux d'attaque	Observations
Attaques sulfuriques	BF 29	12,4				24,0	4,1	5,5	0,52	0,23	
	BF 43	18,6				21,2	4,2	7,1	0,88	0,33	
	BF 59	25,1				20,7	6,1	8,3	1,21	0,40	
	BF 65	27,9				20,2	6,9	9,8	1,38	0,48	
Attaque mixte	BF 8	7,7	21,6 soit 11,4 p.c. d'acide pur			29,0	11,7	14,6	0,66	0,50	Granulations difficile
Attaque phosphorique	BF P					28,1	6,4				
Attaques complexes	BF MAP1	18,8		33,3 soit 18,2 p.c. de produit pur			13,8				
	BF MAP2	9,4		16,60 soit 9,06 p.c. de produit pur			9,0				

Source : Paul (1988)

Annexe 3a : Essai phosphates Sarfa/P8
Récapitulatif des rendements en kg/ha (1981-1991)

	1981 Sorgho		1983 Sorgho		1985 Sorgho		1986 Sorgho		1987 Sorgho		1988 Sorgho		1989 Sorgho		1990 Sorgho		1991 Sorgho	
	Grain	Paille	Grains	Paille	Grains	Paille	Grains	Paille	Grains	Paille	Grains	Paille	Grain	Paille	Grain	Paille	Grain	Paille
Témoin NK	3418	11188	2297	8680	1247	4417	635	1995	615	2463	761	3330	1093	3453	682	1929	977	2984
NPK P. tricalcique (B.P.)	3504	9371	2677	9227	1461	6481	1081	3380	937	4438	1438	4352	1350	3804	1055	2604	1974	4225
NPK P. LV42	3604	9982	2940	9420	1510	6559	1254	3708	808	4218	1420	4263	1458	4495	1055	2508	1961	4006
NPK P. TSP	3993	10831	3152	9677	1554	6880	1522	4043	956	4662	1642	4996	1497	4101	1370	2700	2166	4958
CV % Test F	8	14.8	12.7	12.6	31.6	15	.	.	3.8									
	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS									

Annexe 3b : Essai phosphates Saria P8 : Evolution de quelques composantes du rendement du sorgho (1981-1987)

	1981			1983			1985			1986			1987		
	RDT panicules kg/ha	Nbre panicules /ha	Pds grains /panicule grs	RDT panicules kg/ha	Nbre panicules /ha	Pds grains /panicule grs	RDT panicules kg/ha	Nbre panicules /ha	Pds grains /panicules grs	RDT panicules kg/ha	Nbre panicules /ha	Pds grains /panicules grs	RDT panicules kg/ha	Nbre panicules /ha	Pds grains /panicules grs
Témoin NK	4382	54205	63.1	2938	60185	38.2	1609	48354	25.8	938	43210	14.7	770	21798	28.2
NPK P.tricalcique (BP)	4485	54244	64.6	3445	59735	44.8	2020	50772	28.8	1489	47968	22.5	1189	31764	29.5
NPK P. UV42	4559	53498	67.4	3595	61600	47.7	2038	52373	28.8	1694	43724	28.7	1013	30735	26.3
NPK P. TSP	5038	57742	69.2	3880	60507	52.1	2352	49769	31.2	2041	46007	33.1	1062	33565	28.5

Annexe 4a : Dynamique du phosphore assimilable
(Méthode BRAY II) en ppm

Traitement	Type de sol									
	Sol brun vertique (DI)					Sol ferrallitique (Farako-Bâ)				
	5è jour	10è jour	15è jour	20è jour	30è jour	5è jour	10è jour	15è jour	20è jour	30è jour
Témoin	13,15	1,65	1,96	2,54	0,46	11,28	1,24	2,92	1,70	1,84
Compost 1	17,35	1,28	2,56	3,12	0,84	10,93	1,87	3,08	1,94	2,68
Compost 2	18,90	2,10	4,83	6,79	2,33	38,55	5,72	10,03	4,13	7,74
Compost 3	31,75	4,53	6,58	12,72	6,09	59,03	7,77	18,03	6,39	13,34
Compost 4	37,30	5,30	10,55	6,18	7,14	86,9	11,46	28,18	10,19	20,53
Compost 5	42,55	5,64	11,50	6,35	8,44	76,05	16,17	29,23	11,25	21,75

Annexe 4b : Dynamique du phosphore assimilable
(Méthode BRAY II) en ppm

Traitement	Type de sol									
	Sol ferrugineux tr. I (Saria)					Sol ferrugineux tr. II (Fara Poura)				
	5è jour	10è jour	15è jour	20è jour	30è jour	5è jour	10è jour	15è jour	20è jour	30è jour
Témoin	11,35	0,51	0,91	1,49	0,79	8,35	1,09	2,92	2,40	1,66
Compost 1	11,98	0,88	1,26	2,08	0,74	15,93	2,05	4,32	2,73	2,73
Compost 2	43,98	4,74	2,99	3,82	3,94	33,20	7,42	10,61	4,15	5,46
Compost 3	49,20	7,14	6,25	5,48	7,28	48,60	11,25	15,63	5,90	14,09
Compost 4	93,98	14,32	10,59	11,39	8,80	108,73	15,26	29,93	11,36	9,10
Compost 5	97,38	14,82	10,62	11,60	9,08	122,2	17,83	35,69	12,43	16,10

Annexe 5a : Effets des phosphocomposts sur la production de matière sèche de *Pennisetum glaucum* en mg/kg de sol

		TYPE DE SOL					
Traitements	Sol ferrugineux tropical I (Saria)						
	1ère coupe	2ème coupe	3ème coupe	4ème coupe	Σ 4 coupes	Racines	Total
Témoin	724	408	184	408	1724	368	2092
Compost 1	2053	928	411	724	4146	658	4804
Compost 2	2230	1270	1125	1730	6355	1493	7848
Compost 3	2362	1589	1322	1711	6984	1553	8537
Compost 4	2439	1509	1474	1781	7203	1789	8992
Compost 5	2399	1579	1441	1697	7116	1737	8853

Annexe 5b : Effets des phosphocomposts sur la production de matière sèche de *Pennisetum glaucum* en mg/kg de sol

		TYPE DE SOL					
Traitements	Sol ferrugineux tropical II (Fara Poura)						
	1ère coupe	2ème coupe	3ème coupe	4ème coupe	Σ 4 coupes	Racines	Total
Témoin	888	500	211	526	2125	322	2447
Compost 1	2493	1105	691	954	5243	1243	6486
Compost 2	2447	1322	908	1395	6072	1757	7829
Compost 3	2513	1513	1132	1533	6691	1572	8263
Compost 4	2375	1447	1138	1441	6401	2072	8473
Compost 5	2421	1553	1086	1520	6580	2151	8731

Annexe 5c : Effets des phosphocomposts sur la production de matière sèche de *Pennisetum glaucum* en mg/kg de sol

TYPE DE SOL							
Traitements	Sol brun vertique (DI)						
	1ère coupe	2ème coupe	3ème coupe	4ème coupe	Σ 4 coupes	Racines	Total
Témoin	1275	558	175	517	2525	175	2700
Compost 1	3083	975	333	833	5224	992	6216
Compost 2	2983	925	300	850	5058	575	5633
Compost 3	3008	900	375	917	5200	550	5750
Compost 4	3017	1108	367	733	5225	642	5867
Compost 5	3192	917	433	750	5292	667	5959

Annexe 5d : Effets des phosphocomposts sur la production de matière sèche de *Pennisetum glaucum* en mg/kg de sol

TYPE DE SOL							
Traitements	Sol ferrallitique (Fara Poura)						
	1ère coupe	2ème coupe	3ème coupe	4ème coupe	Σ 4 coupes	Racines	Total
Témoin	921	421	164	493	1999	343	2342
Compost 1	2100	879	493	1021	4493	829	5322
Compost 2	2279	1443	993	1400	6115	1293	7408
Compost 3	2429	1357	1071	1407	6264	1414	7678
Compost 4	2571	1479	943	1371	6364	1407	7771
Compost 5	2579	1507	993	1393	6472	1700	8172

Annexe 6a : Effets des phosphocomposts sur le phosphore exporté
Pennisetum glaucum en mg P/vase

TYPE DE SOL							
Traitements	Sol ferrugineux tropical I (Saria)						
	1ère coupe	2ème coupe	3ème coupe	4ème coupe	Σ 4 coupes	Racines	Total
Témoin	0,34	0,54	0,12	0,18	1,18	0,02	1,20
Compost 1	0,83	0,65	0,16	0,21	1,85	0,03	1,88
Compost 2	1,19	1,14	0,52	0,66	3,51	0,09	3,60
Compost 3	1,56	1,61	0,71	1,05	4,93	0,09	5,02
Compost 4	1,85	1,78	0,87	1,35	5,85	0,11	5,96
Compost 5	1,60	1,43	0,86	1,22	5,11	0,10	5,21

Annexe 6b : Effets des phosphocomposts sur la production
de matière sèche de *Pennisetum glaucum*
en mg/kg de sol

TYPE DE SOL							
Traitements	Sol ferrugineux tropical II (Fara Poura)						
	1ère coupe	2ème coupe	3ème coupe	4ème coupe	Σ 4 coupes	Racines	Total
Témoin	1,00	0,87	0,20	0,31	2,38	0,01	2,39
Compost 1	1,26	0,98	0,26	0,38	2,88	0,07	2,95
Compost 2	1,15	1,20	0,48	0,68	3,51	0,11	3,62
Compost 3	1,22	1,30	0,66	0,98	4,16	0,10	4,26
Compost 4	1,19	1,35	0,71	1,10	4,35	0,14	4,49
Compost 5	1,25	1,53	0,70	1,04	4,52	0,14	4,66

Annexe 6c : Effets des phosphocomposts sur le phosphore exporté
Pennisetum glaucum en mg P/vase

Traitements	TYPE DE SOL						
	Sol vertique (DI)						
	1ère coupe	2ème coupe	3ème coupe	4ème coupe	Σ 4 coupes	Racines	Total
Témoin	0,64	0,31	0,08	0,15	1,18	0,04	1,18
Compost 1	1,02	0,76	0,07	0,16	2,01	0,03	2,04
Compost 2	1,09	0,63	0,08	0,18	1,98	0,02	2,00
Compost 3	1,01	0,64	0,09	0,16	1,90	0,02	1,92
Compost 4	1,03	0,75	0,09	0,16	2,03	0,02	2,05
Compost 5	1,15	0,63	0,10	0,16	2,04	0,02	2,06

Annexe 6d : Effets des phosphocomposts sur la production
de matière sèche de *Pennisetum glaucum*
en mg/kg de sol

Traitements	TYPE DE SOL						
	Sol ferrugineux tropical II (Fara Poura)						
	1ère coupe	2ème coupe	3ème coupe	4ème coupe	Σ 4 coupes	Racines	Total
Témoin	0,30	0,42	0,07	0,22	1,01	0,01	1,02
Compost 1	0,84	0,77	0,18	0,28	2,07	2,07	2,11
Compost 2	1,21	1,78	0,57	0,71	4,27	4,27	4,36
Compost 3	1,43	1,50	0,67	0,92	4,52	4,52	4,63
Compost 4	1,58	1,12	0,66	0,97	5,33	5,33	5,44
Compost 5	1,53	1,81	0,70	1,06	5,10	5,10	5,22

Annexe 7 : Récapitulatif des productions de matières sèches
(mg) (composts anaérobies)

Traitements	1ère coupe en mg	2ème coupe en mg	3ème coupe en mg	Total des trois coupes
Témoin	1800	0613	0347	2760
Témoin + Azote	2430	1100	0420	3950
Fumier	2278	758	0435	3471
Fumier + Azote	3238	1578	0570	5386
C. ANAE	1843	548	0387	2778
C. ANAE + Azote	2668	1070	0442	4180
C. ANAE/N	2235	735	0361	3331
C. ANAE/N	2885	1155	0398	4438
C. ANAE/P	2245	760	0364	3369
C. ANAE/P + Azote	3408	1288	0412	5108
C. ANAE/C	2485	703	0427	3615
C. ANAE/C + Azote	3498	1268	0536	5302
C. ANAE/D	2420	783	0365	3358
C. ANAE/D + Azote	3458	1193	0494	5145
C. ANAE/PC	2475	858	0301	3634
C. ANAE/PC + Azote	3200	1770	0697	5667
C. ANAE/NP	2435	603	0412	3450
C. ANAE/NP + Azote	3313	1240	0516	5069
C. ANAE/NPCD	2693	753	0365	3811
C. ANAE/NPCD + Azote	3463	1418	0531	5412
C.V. p.c.	8,05	14,18		
PPDS : 5 p.c.	310	200		
1 p.c.	420	270		
signification	H S	H S		

Annexe 8a : Budget partiel (essai phosphates naturels + matière organique). Evolution des bénéfices nets en FCFA/ha (1982-1990).

		Bénéfices nets [sans les coûts d'opportunité (m.o)]		Bénéfices nets [y compris l coûts d'opportunité (m.o)]	
		- coûts monétaires du fumier	+ coûts monétaires du fumier	- coûts monétaires du fumier	+ coûts monétaires du fumier
1982	T	52800		52800	
	FV	63250 (54800)	63250 (54800)	52937 (44487)	52937 (4448)
	BPa	55850 (54500)	55850 (54500)	47317 (45967)	47317 (4596)
	BPa + F	70900 (69550)	65900 (64550)	54967 (53617)	49967 (4861)
	BPc	65450 (64100)	65450 (64100)	54720 (53370)	54720 (5337)
	BPc + f	64850 (63500)	59850 (58500)	49684 (48334)	49684 (4833)
1983	T	24592		24592	
	FV	31636 (23286)		18165 (9815)	
	BPa	21564 (19814)		13612 (11862)	
	BPa + F	38558 (36808)		23696 (20685)	
	BPc	35788 (34038)		22459 (20685)	
	BPc + f	35846 (34096)		22493 (20743)	
1984	T	26752		26752	
	FV	43052 (34052)	43052 (34052)	26333 (17333)	26333 (1733)
	BPa	34652 (31652)	34652 (31652)	21521 (18521)	21521 (1852)
	BPa + F	38876 (35876)	33876 (30876)	19616 (16616)	14616 (1161)
	BPc	49248 (46248)	49248 (46248)	31596 (28596)	31596 (2859)
	BPc + f	44192 (41192)	39192 (36192)	23880 (20880)	18880 (1588)
1985	T	17520		17520	
	FV	32260 (29110)		12080 (4928)	
	BPa	28580 (26530)		10380 (8330)	
	BPa + F	41060 (39010)		15736 (13686)	
	BPc	44680 (42630)		18717 (16667)	
	BPc + f	49800 (47750)		20915 (18865)	
1986	T	12640		12640	
	FV	46620 (36120)	46620 (36120)	1546 (-4954)	1546 (-495)
	BPa	24900 (23100)	24900 (23100)	851 (-949)	851 (-94)
	BPa + F	47300 (45500)	42300 (40500)	980 (-820)	-4020 (-582)
	BPc	15180 (13380)	15180 (13380)	878 (-922)	878 (-92)
	BPc + f	64460 (62660)	59460 (57660)	6621 (4821)	1621 (-17)
1987	T	2480		2480	
	FV	-1970 (-6120)		-54280 (-58431)	
	BPa	1830 (980)		-40804 (-41654)	
	BPa + F	4430 (3580)		-48688 (-49538)	
	BPc	11030 (10180)		-58217 (-59067)	
	BPc + f	20630 (-87326)		19780 (-88176)	

		Bénéfices nets [sans les coûts d'opportunité (m.o)]		Bénéfices nets [y compris les coûts d'opportunité (m.o)]	
		- coûts monétaires du fumier	+ coûts monétaires du fumier	- coûts monétaires du fumier	+ coûts monétaires du fumier
1988	T	7900		7900	
	FV	30100 (29600)	30100 (29600)	-20847 (-21347)	-20847 (-213)
	BPa	34950 (34850)	34950 (34850)	-17200 (-17300)	-17200 (-173)
	BPa + F	29750 (29650)	24750 (24650)	-20368 (-20468)	-25368 (-254)
	BPc	14950 (14850)	14950 (14850)	-8592 (-8692)	-8592 (-86)
	BPc + f	31700 (31600)	26700 (26600)	-17595 (-17695)	-22595 (-226)
1989	T	25100		25100	
	FV	27450 (27450)		10473 (10073)	
	BPa	26450 (26450)		13914 (13914)	
	BPa + F	25550 (25550)		13754 (13754)	
	BPc	32650 (32650)		17154 (17154)	
	BPc + f	30700 (30700)		16807 (16807)	
1990	T	26350		26350	
	FV	2900 (1050)	2900 (1050)	-1347 (-3197)	-1347 (-31)
	BPa	13050 (12300)	13050 (12300)	7190 (6440)	7190 (644)
	BPa + F	33850 (33100)	28850 (28100)	15547 (14797)	10547 (979)
	BPc	44100 (43350)	44100 (43350)	34443 (26693)	34443 (2669)
	BPc + f	55150 (54400)	50150 (49400)	29450 (29000)	24750 (2400)

T = témoin absolu

BPa = phosphates naturels en fumure annuelle

BPc = phosphates naturels en fumure de correction

f = fumier

F.V = NPK vulgarisé

() = bénéfices en situation de non subvention des engrais

Annexe 8b : Budget partiel (essai phosphates naturels + matière organique). Evolution des bénéfices nets en FCFA/ha (1982-1990)

		Bénéfices nets [sans les coûts d'opportunité (m.o)]		Bénéfices nets [y compris les coûts d'opportunité (m.o)]	
		- coûts monétaires du fumier	+ coûts monétaires du fumier	- coûts monétaires du fumier	+ coûts monétaires du fumier
1988	T	9800	9800	-15578	-15578
	FV	25400 (24900)	25400 (24900)	16415 (15915)	16415 (15915)
	BPa	31900 (31800)	31000 (31800)	21675 (22475)	21675 (22475)
	BPa + F	28500 (28400)	23500 (23400)	13859 (13759)	8859 (8859)
	BPc	8850 (8750)	8850 (8750)	-1370 (-1470)	-1370 (-1470)
	BPc + f	14350 (12250)	9350 (7250)	3940 (1840)	-1060 (-316)
1989	T	25200		25118	
	FV	33900 (33500)		23435 (23035)	
	BPa	32300 (32300)		21335 (21335)	
	BPa + F	33900 (33900)		21145 (21145)	
	BPc	36400 (36400)		27054 (27054)	
	BPc + f	35200 (35200)		25261 (25261)	
1990	T	26350	26350	26350	26350
	FV	65250 (63800)	65250 (63800)	24651 (23201)	24651 (23201)
	BPa	21350 (20600)	21350 (20600)	10583 (9833)	10583 (9833)
	BPa + F	38700 (37950)	33700 (32950)	25891 (25141)	20891 (2014)
	BPc	54350 (53600)	54350 (53600)	45206 (44456)	45206 (44456)
	BPc + f	67900 (67200)	62900 (62200)	54200 (53450)	49200 (4845)

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1 : Caractéristiques physico-chimiques des sols étudiés (milieux contrôlés).
- Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques du sol (expérimentation au champ - Saria).
- Tableau 3 : Composition des phosphates naturels de Kodjari.
- Tableau 4 : Etat des réserves des phosphates de Kodjari.
- Tableau 5 : Solubilités conventionnelles de trois minerais phosphatés de l'Afrique de l'Ouest.
- Tableau 6 : Composition des phosphates partiellement solubilisés du Burkina Faso.
- Tableau 7 : Composition du fumier de Saria.
- Tableau 8 : Association phosphates naturels - matières organiques. Traitements et formules de fumures.

Essai phosphates / Saria - PB

- Tableau 9 : Evolution des rendements. Effets et arrière effet de la dolomie (1988-1991).
- Tableau 10 : Evolution de quelques composantes du rendement du sorgho. Effets et arrière effet de la dolomie (1988-1991).
- Tableau 11 : Effets directs de la dolomie sur les rendements et quelques composantes du rendement du sorgho (1988).
- Tableau 12 : Surplus de rendement obtenus suite à l'apport de dolomie.

- Tableau 13 : Arrière effet de la dolomie sur les rendements et sur quelques composantes du rendement du sorgho (1989).
- Tableau 14 : Indices comparés de l'arrière effet de la dolomie (1989).
- Tableau 15 : Arrière effet de la dolomie sur les rendements du sorgho (1990).
- Tableau 16 : Indices comparés de l'arrière effet de la dolomie (1990)
- Tableau 17 : Arrière effet de la dolomie sur les rendements et quelques composantes du rendement du sorgho (1991).
- Tableau 18 : Indices comparés de l'arrière effet de la dolomie (1991).
- Tableau 19 : Evolution des surplus de rendement suite à l'apport de dolomie.
- Tableau 20 : Evolution de la productivité du kilogramme de phosphore engrais.
- Tableau 21 : Influence de la dolomie sur la productivité du kg de phosphore engrais.
- Tableau 22 : Normes pour l'établissement des bilans minéraux: exportations minérales par les cultures.
- Tableau 23 : Normes utilisées pour l'établissement des bilans minéraux théoriques.
- Tableau 24 : Bilans théoriques du phosphore (1981-1987).

- Tableau 25 : Bilans théoriques du phosphore (1988-1991).
- Tableau 26 : Evolution des bilans théoriques du phosphore (1981-1987).
- Tableau 27 : Evolution des bilans théoriques du phosphore (1988-1991).
- Tableau 28 : Bilans théoriques du calcium (1981-1987).
- Tableau 29 : Bilans théoriques du calcium (1988-1991).
- Tableau 30 : Evolution des bilans théoriques du calcium (1981-1987).
- Tableau 31 : Evolution des bilans théoriques du calcium (1988-1991).
- Tableau 32 : Caractéristiques chimiques du sol (1989).
- Tableau 33 : Caractéristiques chimiques du sol (1991).

Etudes de l'amélioration de la solubilité des phosphates naturels (milieux contrôlés)

- Tableau 34 : Caractéristiques chimiques des composts aérobies de paille de sorgho.
- Tableau 35 : Quelques caractéristiques de composts anaérobies après six mois de finition.
- Tableau 36 : Composts anaérobies : production de matières sèches de mil (sans azote).
- Tableau 37 : Composts anaérobies : production de matières sèches de mil (avec azote).

- Tableau 38 : Effets des composts sur la production du mil.
- Tableau 39 : Teneurs du mil en phosphore.
- Tableau 40 : Exportation du phosphore par le mil.
- Tableau 41 : Caractéristiques chimiques des composts de pailles de maïs.
- Tableau 42 : Test respirométrique, dégagements journalier et cumulé de CO_2 .
- Tableau 43 : Test respirométrique, TMC journalier et cumulé.
- Tableau 44 : Caractéristiques chimiques des phosphates "humifert".
- Tableau 45 : Production de matières sèches. Sol ferrugineux Saria phosphates "humifert".
- Tableau 46 : Production de matières sèches. Sol ferrallitique Di phosphates "humifert".
- Tableau 47 : Phosphore exporté par le mil sol ferrugineux Saria phosphates "humifert".
- Tableau 48 : Phosphore exporté par le mil. Sol vertique Di phosphates "humifert".
- Tableau 49 : Teneurs en phosphore du mil phosphates "humifert".
- Tableau 50 : Coefficient d'utilisation apparent du phosphore (CUA), phosphates "humifert".

Essai phosphates naturels - matière organique

- Tableau 51 : Evolution des rendements (1982-1990).
- Tableau 52 : Evolution des rendements. Effets et arrière effet de la dolomie (1988-1990).
- Tableau 53 : Evolution de la productivité du kilogramme de phosphore engrais.
- Tableau 54 : Effet de la dolomie sur la productivité du kilogramme de phosphore engrais.
- Tableau 55 : Bilans théoriques du phosphore (1982-1987).
- Tableau 56 : Bilans théoriques du phosphore (1988-1990).
- Tableau 57 : Evolution des bilans théoriques en phosphore (1982-1987).
- Tableau 58 : Evolution des bilans théoriques en phosphore (1988-1990).
- Tableau 59 : Bilans théoriques du calcium (1982-1987).
- Tableau 60 : Bilans théoriques du calcium (1988-1990).
- Tableau 61 : Evolution des bilans du calcium (1982-1987).
- Tableau 62 : Evolution des bilans du calcium (1988-1990).
- Tableau 63 : Caractéristiques chimiques du sol (1991).
- Tableau 64 : Evolution des prix des engrais durant les campagnes 1980/81 à 1989/1990.

Tableau 65 : Evolution des prix officiels du sorgho blanc.

Tableau 66 : Budget partiel. Bénéfices nets cumulés.

Tableau 67 : Budget partiel. Effets de la dolomie sur les bénéfices nets cumulés.

Tableau 68 : Taux marginal de rentabilité (TMR).

Tableau 69 : Effet de la dolomie sur le taux marginal de rentabilité (TMR).

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : Evolution de la pluviométrie annuelle de Saria (1980-1991).
- Figure 2 : Evolution des rendements de l'essai phosphate Saria-P8 (1981-1991).
- Figure 3 : Evolution du rapport poids grains/poids panicules. Essai phosphate Saria-P8 (1981 à 1991).
- figure 4 : Effets et arrière effet de la dolomie. Essai phosphate Saria-P8 (1988-1991). Rendements grains.
- Figure 5 : Effets et arrière effet de la dolomie. Essai phosphate Saria-P8 (1988-1991). Rendements paille.
- Figure 6 : Effets et arrière effet de la dolomie. Essai phosphate Saria-P8 (1990) :
- a) avec dolomie
 - b) sans dolomie
- Figure 7 : Effets et arrière effet de la dolomie. Essai phosphate Saria-P8 (1991) :
- a) avec dolomie
 - b) sans dolomie
- Figure 8 : Evolution des surplus de rendements suite à l'apport de dolomie
- a) sur les rendements pailles
 - b) sur la production totale
 - c) sur les rendements grains
- Figure 9 : Effets de la dolomie sur l'évolution des indices de rendement 1988-1991.

- Figure 10 : Evolution du phosphore assimilable. Sol ferrugineux
a) sans azote
b) avec azote
- Figure 11 : Evolution du phosphore assimilable. Sol ferrallitique
a) sans azote
b) avec azote
- Figure 12 : Evolution du pH - Sol ferrallitique
a) sans azote
b) avec azote
- Figure 13 : Evolution du pH - Sol ferrugineux
a) sans azote
b) avec azote
- Figure 14 : Evolution du dégagement journalier de CO_2 .
- Figure 15 : Evolution cumulé de CO_2 .
- Figure 16 : Evolution du TMC cumulé de CO_2 .
- Figure 17 : Evolution des rendements grains. Essai phosphates naturels - matière organique (1982-1990).
- Figure 18 : Effets directs de la dolomie. Essai phosphates naturels - matière organique (1988).
a) rendements grains
b) rendements pailles
- Figure 19 : Arrière effet de la dolomie sur arachide (1989).
- Figure 20 : Arrière effet de la dolomie sur sorgho (1990)
a) rendements grains
b) rendements pailles

LISTE DES CARTES

Carte 1 : Les zones climatiques et les sites d'expérimentation des phosphates naturels au Burkina Faso.

Carte 2 : Carte phyto-climatique du Burkina Faso

Carte 3 : Processus pédogénétiques et géologie du Burkina Faso

Carte 4 : Carte de la dégradation des milieux naturels agricoles au Burkina Faso

Carte 5 : Localisation du gisement de Kodjari

Liste des schémas

Schéma 1 : Système de culture et de consommation des résidus

Schéma 2 : Coupe lithologique de la formation de Kodjari.