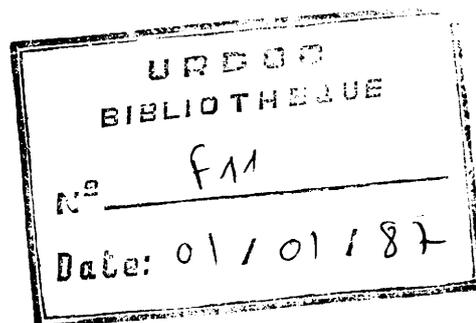


**TITRE 4**

**SYNTHESE DES ETUDES ANTERIEURES**



**SOMMAIRE DU TITRE 4****SYNTHESE DES ETUDES ANTERIEURES**

**CHAPITRE 1**      **BURNINA-FASO**

**CHAPITRE 2**      **MALI**

**CHAPITRE 3**      **NIGER**

**CHAPITRE 4**      **SYNTHESE D'ENSEMBLE**

CHAPITRE 1  
BURKINA-FASO

## 1.1. HISTORIQUE.

1.1.1 L'évolution des études relatives à l'utilisation des minerais phosphatés du BURKINA-FASO pour la fertilisation de ce pays est concrétisée par les documents fondamentaux suivants:

- (a)-1977 - " Etude sur les engrais en Afrique de l'Ouest " effectuée par " International Fertilizer Development Center" ( IFDC ) dont le volume 4 est consacré au BURKINA-FASO ( mars 1977 ).
- (b)- 1980 - " Rock Phosphate Utilization in UPPER VOLTA " établi par IFDC pour " Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit " ( GTZ ), (août 1980).
- (c)- 1982 - " Résultats des essais et démonstrations avec le phosphate naturel brut voltaïque " établi par M. Braunschweig pour GTZ.
- (d)- 1983 - " La stratégie de développement d'une industrie d'engrais dans les trois pays du LIPTAKO-GOURMA " établi par M. Van Dierendonck pour l'UNIDO ( 4 février 1983 ).
- (e)- 1984 - "Stratégie de développement d'une industrie d'engrais dans les six pays membres de la CAO " par MM M. Barloy & P. Moraillon pour l' UNIDO .
- (f)- 1984 - "Etude de Faisabilité pour une usine d'engrais en HAUTE-VOLTA " préparée par IFDC pour le Ministère du Développement Rural (novembre 1984 ) .
- (g)- 1984 - " Estimation des frais de transports routiers en HAUTE-VOLTA " préparée par IFDC pour le Ministère du Développement Rural, (novembre 1984 ) .

- (h)- 1985 - "Rapport de synthèse des résultats des essais avec les phosphates naturels ( Campagne agricole 1984/1985 ) " établi par l'Institut Burkinabe de Recherches Agronomiques & Zootechniques conjointement avec le Projet Phosphate ( avril 1985 ).
- (i)- 1986 - "Etude de Faisabilité d'un atelier de fabrication d' engrais au BURKINA-FASO " réalisée par ATFER ( avril 1986 ) .

1.1.2. Ces études ont successivement conduit à :

- faire le point sur les gisements de phosphate du BURKINA-FASO et développer les connaissances sur le minerai du gisement principal (gisement de Kodjari ),
- préconiser la possibilité d'utiliser ce phosphate directement en culture, et introduire effectivement cette utilisation directe dans la pratique ,
- rechercher et mettre au point un procédé d'attaque par une quantité limitée d'acide sulfurique permettant une certaine amélioration de la solubilité de phosphate, et donc de son efficacité,
- étudier la faisabilité d'une usine de fabrication d'engrais utilisant ce procédé.

## 1.2. ETUDES ET ESSAIS TECHNIQUES

### 1.2.1. Gisements

Les gisements seront décrits ci-après au Titre 6 : "Les minerais phosphatés", aussi nous ne résumerons ici que l'essentiel des conclusions auxquelles ont abouti toutes les études.

Trois gisements de minerais phosphatés sont connus :

- Arlit
- Kodjari
- D'Aloub-Djouna

mais seul le minerai du gisement de Kodjari a été pris en considération; en effet, celui-ci est le mieux connu et ses réserves sont estimées suffisantes pour justifier son exploitation éventuelle.

Toutes les analyses effectuées sur les échantillons de minerai provenant de ce gisement montrent que :

- **minéralogiquement** , il contient essentiellement:

- Apatite ..... 60%
- Quartz-Calcédoine ....20 %

auxquels sont associées de petites quantités de Kaolinite, de Muscovite, de Goethite de Feldspath et des traces de Wavellite.

- **chimiquement** , il est caractérisé par :

- une teneur en  $P^2O^5$  relativement faible:..... 24 à 26 %
- une teneur en silice très élevée :..... environ de 18 à 25 %
- une teneur en fer+ alumine importante:.....de l'ordre de 7 à 9 %
- une faible réactivité, dont notamment :

- une solubilité du  $P^2O^5$  dans l'acide citrique faible:....< 20 %

ainsi qu' une tendance à donner des produits colloïdaux lors d'attaques par les acides.

- **physiquement** , il présente une grande dureté ( 10 dans l'échelle de Mohr ).

- **Agronomiquement** , on observe une certaine solubilisation de ce minerai dans les sols relativement acides de la région, sous réserve de le broyer au préalable très finement, de manière à l'amener à une granulométrie comprise entre 50 et 100 microns .

Par ailleurs le gisement de Kodjari se prête à une exploitation relativement aisée, en raison de ses conditions d'accessibilité géologique et topographique, mais 3 contraintes évidentes rendent difficile sa mise en valeur :

- l'éloignement de la mine des centres d'utilisation potentiels ;
- la nécessité d'importer les matières premières pour son traitement ;
- l'éloignement des ports permettant son exportation ou l'importation des matières premières.

Toutefois 2 projets ont été successivement envisagés, l'un par IFDC, l'autre par ATFER et son utilisation directe en culture essayée.

#### 1.2.2. Utilisation directe en culture

L'utilisation directe en culture du minerai phosphaté de Kodjari représente une opération techniquement simple. Elle a donc été développée dès que l'efficacité de ce mode d'utilisation du minerai, bien que relative, eut été attestée.

Pour ce faire une installation de broyage a été réalisée à Diapaga , sur le gisement même, et une organisation d'exploitation et de distribution mise en place.

Toutefois, cette utilisation n'a pas pris l'extension espérée et la production de phosphate broyé de qualité commerciale est de l'ordre de grandeur du :

millier de tonnes/an

( assez variable d'ailleurs, en fonction d'aléas techniques ou commerciaux ).

Cette expérience permet désormais d'avoir une bonne connaissance de l'efficacité agronomique réelle du minerai de Kodjari utilisé directement comme engrais

( Cf. ci-après : 1.3 ).

### 1.2.3. Essais de solubilisation du phosphate de Kodjari.( IFDC)

#### A -Solubilisation industrielle par l'acide sulfurique .

Dès 1980 , la société IFDC a effectué des essais importants en vue d' utiliser pour le traitement du minerai de Kodjari la méthode d'attaque sulfurique qu' elle avait imaginée et déjà essayée pour le traitement de phosphates difficiles, de manière à définir un processus :

- qui soit techniquement adapté à ce minerai riche en fer et alumine,
- et :
- qui conduise à un engrais ayant un certain intérêt agronomique, par une solubilisation suffisante du  $P^2O^5$  .

Cette recherche a conclu à la possibilité d'utiliser ce procédé, désormais connu sous le nom de :

" Procédé d'acidification partielle des phosphates"

pour le traitement du minerai de Kodjari, permettant de fabriquer un engrais désormais connu sous le nom de :

" Phosphate naturel partiellement acidifié " .

Celui-ci sera désigné , en abrégé, par le sigle :

" PNPA "

Le procédé consiste à faire réagir sur le minerai une quantité d'acide sulfurique inférieure à la quantité stoechiométrique qui serait nécessaire pour solubiliser à l'eau le  $P^2O^5$  dans une fabrication de superphosphate simple . En pratique, il s'avère possible de n'utiliser qu'une quantité de l'ordre de 10 à 60 % de de celle-ci pour obtenir un engrais dont la solubilité citrique du  $P^2O^5$  est nettement améliorée (cette proportion est appelée le "taux d'acidulation").

Diverses variantes du procédé ont été essayées et des essais agronomiques en vases de

végétation ont été effectués dans le but de tester, à la fois, l'intérêt agronomique des produits et l'économie effective du procédé. Ces essais en vases ont montré que le procédé peut être efficacement employé avec des taux d'acidulation de :

30 à 50 %,

l'efficacité agronomique croissant avec le taux d'acidulation.

Toutefois l'expérimentation sur le terrain n'a pas semblé confirmer pleinement que l'efficacité agronomique varie de manière très significative lorsqu'on élève le taux d'acidulation au delà d'une certaine valeur, et on a tendance à admettre que l'économie optimale est plutôt obtenue pour un taux d'acidulation de l'ordre de seulement :

30 %.

IFDC a également effectué quelques essais de granulation des produits obtenus par son procédé. Il s'est avéré que l'efficacité de ceux-ci est :

- légèrement meilleure à l'état pulvérulent qu'à l'état granulé,
- varie assez peu avec la granulométrie lorsqu'il est granulé.

Ces essais permettent d'envisager favorablement un conditionnement par :

" micro-granulation "

### B -Solubilisation "in situ " par le Soufre

Des échantillons d'engrais constitué par mélange de phosphate naturel broyé et de soufre ont été préparés et testés agronomiquement afin de voir si , dans le sol , ne se produirait pas, sous l'effet de réactions chimiques et biologiques , une solubilisation du  $P_2O_5$  suffisante pour accroître l'efficacité du minerais comme engrais .

Les résultats ont effectivement confirmé ce point de vue. Toutefois l'efficacité de ces mélanges, bien que supérieure à celle du phosphate brut , s'est montrée très limitée et suffisamment inférieure à celle du PNPA pour ne pas justifier d'études plus approfondies dès lors qu'avait été trouvée au moins une voie possible de traitement du minerai.

Le résultat de ces essais est donné ci-après au chapitre 1.3.1.

### C - Conclusions.

La conclusion de l'ensemble de ces essais techniques et agronomiques fût alors que la fabrication de PNPA :

- était techniquement possible ;
- apparaissait, à l'époque, comme la seule méthode capable de produire à partir du minerai de Kodjari un engrais dont l'efficacité soit, bien qu'inférieure, presque comparable à celle des engrais classiques, c'est-à-dire, en pratique, intermédiaire entre celle du minerai et celle des engrais dont le  $P^2O^5$  est soluble à l'eau.

#### **1.2.4. Etudes sur la possibilité d'une fabrication d'engrais**

( MM. Van Dierendonck, Barloy , Moraillon )

Diverses études, intéressant d'ailleurs plusieurs pays de l'Afrique de l'Ouest, ont été effectuées dans le but de rechercher la possibilité d'implanter une fabrication d'engrais, par des voies classiques , à partir des minerais phosphatés de ces pays dont, notamment le minerai de Kodjari.

Ces études, en ce qui concerne les pays de la région du Liptako-Gourma, n'envisagent

comme possibilité technique que la fabrication éventuelle de PNPA, (plus ou moins favorablement d'ailleurs suivant les Experts, dont certains semblent plutôt préconiser le développement d'usines sur le littoral, et l'utilisation de minerais phosphatés africains plus riches) .

Ces études prévoyaient en 1983, pour l'ensemble des 3 pays membres de l'ALG, les quantités suivantes d'éléments fertilisants :

- N : 24 000 à 27 000 t/an
- P<sup>2</sup>O<sup>5</sup> : 20 000 à 22 000 t/an

#### 1.2.5 . Faisabilité d'une fabrication de PNPA

La fabrication du PNPA s'avérant ainsi la seule voie possible pour valoriser efficacement le minerai de Kodjari , une étude de faisabilité fût demandée à IFDC en 1984 pour la réalisation d'une usine d'engrais au BURKINA-FASO permettant une telle fabrication.

Cette étude a été effectuée sur la base des consommations prévisionnelles d'engrais du Ministère du Développement Rural, des estimations d'investissement et des coûts des matières premières ou des engrais importés. Elle a envisagé 3 variantes possibles de production d'engrais NPK :

- Variante A -Fabrication d'engrais à partir d'éléments fertilisants importés , par mélange en vrac et conditionnement ;
- Variante B - Fabrication de PNPA , granulé ou micro- granulé , à partir du minerai de Kodjari et d'acide sulfurique produit localement à partir de soufre importé ;
- Variante C - Fabrication d'engrais NPK à partir de PNPA produit localement, comme dans la variante précédente , et d'autres éléments fertilisants, par

mélange en vrac et conditionnement. Une partie du PNPA est utilisé tel quel.

Les résultats de cette étude, très détaillée et précise peuvent se résumer dans le tableau donné ci-dessous, assez décevant puisque défavorable au but poursuivi :

Tableau 4-1-1

		VARIANTE A	VARIANTE B	VARIANTE C
<i>Demande/production en 1995</i> (tonnes)				
NPK1		45000/45000	35000/-	- / -
NPK2		- / -	- / -	
PNPA		- / -	2000/2000*	7000 (1) / 59000 (2)
Investissement	16 <sup>6</sup> US \$	3,8	7,8 ou 9,8	19,8
TRI	%	12,7	négatif	0,5

\* 2,8 t/h

(1) : par application directe

(2) : dont 7000 par application directe

En corrélation avec cette étude, IFDC a effectué une étude détaillée sur les coûts de transports routiers pour les engrais en sacs, utile pour la recherche de solutions optimales d'implantation d'usines ou de distribution.

#### 1.2.6. Complément d'étude ( ATFER)

Les travaux effectués par diverses sociétés dont certaines ayant repris le procédé d'acidulation partielle, ont justifié la poursuite d'études visant à la valorisation du minerai de Kodjari par fabrication de PNPA.

Une étude a donc été commandée à ATFER dans le but de rechercher une autre solution plus intéressante économiquement pour la fabrication d'engrais à base de PNPA, lui-même produit à partir de minerai de Kodjari.

Cette étude effectuée, en Avril 1986, sur financement de la Banque Mondiale, est intitulée : "Etude de faisabilité d'un atelier de fabrication d'engrais au Burkina-Faso". Elle avait en particulier comme but d'identifier et examiner tous les procédés d'acidulation partielle du phosphate naturel avec l'acide sulfurique actuellement utilisés dans l'industrie et dont les brevets sont disponibles.

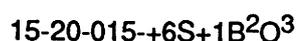
Volume I -Après un rappel historique sur l'essentiel des connaissances relatives au minerai de Kodjari et sur la valeur agronomique du minerai et du PNPA (déjà indiquées ci-dessus), le rapport fait le point sur le marché des engrais et sur les formulations utilisées. Il en conclut :

- à une consommation prévisionnelle pour 1995 de :

- N : 11 000 t/an
- P<sup>2</sup>O<sup>5</sup> : 11 700 t/an
- K<sup>2</sup>O : 7 200 t/an

et :

- à l'intérêt de baser l'étude sur la production d'un engrais PK+S+B de même équilibre que la formule coton utilisée au moment de l'étude, qui est :



auquel serait ajouté par épandage séparé de l'urée en quantité appropriée pour respecter cet équilibre ou pouvoir être adapté aux autres cultures.

Le rapport relate ensuite les essais de laboratoire que ATFER a fait réaliser en vue d'approfondir les connaissances sur les conditions et les résultats de l'acidulation partielle du minerai de Kodjari. Il en conclut que :

- le P<sup>2</sup>O<sup>5</sup> soluble eau et soluble citrate augmente lorsque le taux d'acidulation augmente ;

- la teneur en  $P^{2}O^{5}$  soluble eau ou citrate rétrograde au mûrissement par suite d'attaque évolutive du fer et de l'alumine ;

Ainsi, après 30 jours de mûrissement, les proportions de  $P^{2}O^{5}$  solubles sont :

. Taux d'acidulation	: %	30	46
. $P^{2}O^{5}$ soluble eau / $P^{2}O^{5}$ total	: %	11,9	15,9
. $P^{2}O^{5}$ soluble citr./ $P^{2}O^{5}$ total	: %	25,8	35,6

- Lorsque le taux d'acidulation est de 40% le produit est compactable dès fabrication.  
Lorsque ce taux augmente un mûrissement est nécessaire pour permettre le compactage, mais par contre le produit peut se granuler, et d'autant mieux que le taux d'acidification est plus élevé.
- La qualité du produit est peu affectée par la concentration de l'acide que l'on peut favorablement choisir :
  - vers 60% lorsque le taux d'acidulation demeure inférieur à 40%.
  - vers 70% pour un taux d'acidulation de 60%.
- D'après les analyses il ne doit pas y avoir d'avantages agronomiques importants à attendre d'un accroissement du taux d'acidulation au dessus de 30%.

Le rapport fait ensuite le point sur le procédé d'acidification partielle IFDC et décrit le processus de fabrication dans les 2 cas suivants :

- Fabrication de PNPA pulvérulent,
- Fabrication de PNPA granulé.

Il reconnaît que c'est IFDC qui possède à ce jour la meilleure connaissance de cette fabrication du PNPA.

Il passe ensuite en revue les autres procédés d'acidification qui paraissent utilisables pour traiter le minerai de Kodjari :

- NORSK HYDRO FERTILIZERS (UK ) -(fabrication de PNPA par attaque sulfurique).

Ce procédé ne diffère pas dans son principe du procédé IFDC. Il existerait à Granpack une unité, mais on n'indique ni sa capacité, ni les caractéristiques du produit fabriqué.

- HUMIFERT (F)- (attaque du minerai en mélange avec des matières organiques par les oxydes d'azote).

Ce procédé est une voie nouvelle qui vient d'être proposée pour le traitement des minerais phosphatés "difficiles"; elle paraît présenter des avantages.

- STODIECK (RFA )- ( fabrication de PNPA par attaque sulfurique )

Il s'agit d'un procédé analogue au procédé IFDC, exploité dans une usine en République Fédérale d'Allemagne. Celle-ci a une capacité de 6 à 8 t/h, mais ne traite que d'excellents phosphates ( Floride, Maroc, .... avec lesquels il n'y aurait pas de difficulté pour faire du SSP) avec un taux d'acidulation de 50%.

Cette société ne souhaite pas licencier son savoir-faire.

auxquels on ajoutera ici les 3 procédés suivants cités dans le rapport complémentaire de mai 1986 ( étudié ci-après) :

- TIMAC, sur lequel aucune information n'a pu être obtenu ;
- SUD.CHEMIE (RFA)- ( fabrication de PNPA par attaque sulfurique ), qui ne souhaite ni donner d'information sans accord préalable ni licencier son savoir-faire.

et, pour mémoire car elle ne fait encore actuellement que du compactage :

- LANCE.

En conclusion, ATFER préconise une fabrication d'engrais de type PK dans une unité comprenant :

- Réception et concassage du phosphate jusqu'à une granulométrie voisine de 10 mm.
- Broyage du phosphate concassé, dans un broyeur à boulets ou un broyeur à galets, jusqu'à obtenir :
  - 90% inférieur à 0.160 mm
  - 70% inférieur à 0.080 mm
- attaque sulfurique partielle du minerai phosphaté, à partir d'acide sulfurique importé, dans un mélangeur à palettes, pour production du PNPA, avec un taux d'acidulation à choisir entre 30 et 60 %.  
Le taux d'acidulation choisi pour l'étude économique est : 30 % ;
- stockage du PNPA pour mûrissement durant quelques semaines ;
- mélange de PNPA après mûrissement, de chlorure de potassium et de borax ;
- compactage du mélange précédent de manière à obtenir un engrais binaire PK contenant du soufre et du bore ;
- ensachage et chargement ;
- diverses facilités ( indiquées dans le volume II): Embranchement, laboratoire, stockages, ...

Cette installation serait calculée pour produire annuellement, en fonctionnant en continu, 56250 tonnes d'engrais de composition :

taux d'acidulation % :            30

formule : 0-16-12-2,8S-0,8B 0-15-11-4,4S-0,7B

Elle a été conçue par ATFER d'après ses études de laboratoire en s'inspirant des unités visitées, et de son expérience.

**Volume II**- Cette seconde partie est l'étude de faisabilité économique. Elle examine successivement :

- Les coûts unitaires des utilités :
  - electricité : 84 000FCFA/an + 65 FCFA/kwh en moyenne
  - gaz-oil : 176 (Ouagadougou) à 223 (Diapaga) FCFA/litre
- Les coûts de transit portuaire des matières premières importées ( par Abidjan ou Lomé ) et les coûts de transport de ces matières et du phosphate jusqu'à l'usine, parmi lesquels nous citerons simplement :

-Acide sulfurique 98% : Abidjan - Ouagadougou	28 396 FCFA/t
-Phosphate (à 26 FCFA/t.km) : Kodjari-Ouagadougou	11 596 FCFA/t

Le transit est plus économique par Abidjan que par Lomé ( gain : 25% ).

- les coûts de transports des engrais, depuis les ports (engrais importés) ou l'usine ( engrais fabriqués)vers les centres de distribution, avec la répartition :

Banfora	:	4,0	%
Bobo-Dioulasso	:	78,0	%
Koudougou	:	10,3	%
Ouagadougou	:	7,7	%

- Les sites d'implantation possibles. Reconnaisant que Bobo-Dioulasso serait le site le plus intéressant au niveau des consommations actuelles, il préconise néanmoins Koudougou ou Ouagadougou et fait le calcul de rentabilité sur ce

dernier site.

- L'effectif du personnel nécessaire : 78 personnes, dont 5 cadres, qui représentent une dépense de 45,1 millions de FCFA/an.
- Les frais d'exploitation, sur la base des consommations suivantes :

- Phosphate : 0,808 t/t PNPA            et 0,640 t/t PK  
 -  $\text{SO}^4\text{H}^2$         : 0,107 t/t PNPA            et 0,085 t/t PK  
 - KCl                :    0,200 t/t PK

et des coûts principaux ci-après :

Phosphate: 13 FCFA/kg PK - Acide sulfurique :        81     FCFA/kg PK  
 KCl :            82 FCFA/kg PK - Utilités +sacs        :        10,5   FCFA/kg PK

- Le coût de l'investissement, évalué ( à  $\pm 15$  % près ) à :  
       4 333 millions FCFA    soit    86 660 000 FF  
 (y compris intérêts intercalaires sur la base d'un apport en capital égal à 35 % de l'investissement).  
 et en déduit un TRI de 20,9 %, pouvant se réduire à 14,8 % si les frais d'exploitation et les matières premières coûtaient 10% plus cher.

Cette étude a donné lieu à diverses observations de la part de la Banque Mondiale et des Autorités du Burkina-Faso, portant notamment sur les points suivants :

- L'hypothèse implicite de l'équivalence du  $\text{P}^2\text{O}^5$  du PNPA, (dont seulement 10 à 15 % est soluble à l'eau , et du  $\text{P}^2\text{O}^5$  de l'engrais coton ( qui est totalement soluble à l'eau ).
- La projection de la demande du produit, qui paraît trop optimiste ;
- la non prise en compte du site de Bobo-Dioulasso ;
- La méthode de calcul du TRI, non conforme à la méthode préconisée par la Banque

Mondiale ;

- Le coût de l'investissement et des matières premières...

ATFER a donc fourni un " Rapport complémentaire " ( mai & juin 1986) tenant compte de ces observations. Dans ce but, il prévoit que des essais agronomiques devront être effectués en vue de comparer les efficacités du PNPA et de l'engrais coton ; il révisé à la baisse les prévisions de consommation d'engrais et réduit en conséquence la capacité de l'unité (42 188 tonnes); apporte un certain nombre de précisions sur la fabrication du PNPA, sur le compactage des engrais, sur le transport des matières premières, sur les sites etc...

En conclusion, il calcule le nouveau TRI, après prise en compte de données tenant compte des observations formulées : celui-ci n'excède plus 4,9% et peut même devenir négatif.

#### 1.2.7. Etudes TIMAC

Des études sont en cours avec TIMAC qui a offert de traiter le minerai de Kodjari par acidulation partielle, suivant des techniques en cours de mise au point dans ses usines.

Trois variantes successives de procédé ont été proposées :

- attaque partielle par l'acide sulfurique seul,
- attaque partielle par 2 acides,
- procédé non dévoilé !

Les 2 premières ont déjà fait l'objet d'essais agronomiques.

Le produit fourni par la troisième devrait être testé prochainement.

Aucun compte rendu n'a été communiqué sur ces études ou essais.

### 1.3. ESSAIS AGRONOMIQUES

#### 1.3.1 Etudes réalisées et résultats obtenus

Les premières expériences sur les phosphates naturels au BURKINA-FASO ont été implantées en 1976 dans les stations de SARIA et FARAKO-BA. Au cours de ces essais, différentes sources de phosphates (engrais coton, phosphate d'ammoniaque, phosphate de KODJARI) et doses de phosphates (fumure de correction et d'entretien) furent testées jusqu'en 1980 sur sorgho, arachide, mil, cotonnier, maïs et soja. Les résultats obtenus ont permis de conclure qu'il faut considérer les phosphates naturels comme un amendement pour plusieurs années.

L'ICRISAT a débuté des recherches en 1979 avec pour objectifs la comparaison des phosphates naturels et du phosphate soluble appliqués sur sorgho, mil et niébé dans des conditions pluviométriques généralement inférieures à 800 mm. D'une façon générale les résultats obtenus ont montré la supériorité du phosphate soluble (super simple) et la faible efficacité des phosphates naturels.

Depuis 1979, le SAFGRAD a réalisé en milieu paysan des essais apportant des faibles doses de phosphate naturel (100 - 150 kg/ha) combiné ou non aux apports d'urée ou de matière organique.

Il semble que les réponses des cultures avec mélanges de phosphate naturel plus urée d'une part et aux engrais solubles ayant les mêmes doses d'azote et de phosphore d'autre part sont différentes.

Les résultats des essais entrepris en 1975 par l'IRCT n'ont montré aucun effet significatif du phosphate naturel sur les rendements du coton. Les arrières effets sur sorgho se sont révélés non significatifs.

Le Programme National Engrais (FAO) a réalisé sur l'arachide des essais comparatifs et des démonstrations avec le phosphate de Kodjari en milieu paysan. Ces essais et démonstrations se sont déroulés essentiellement dans les ORD du Centre, du Centre Est, du Centre Nord, du Yatenga de la Bougouriba et des Hauts Bassins. Les résultats des démonstrations pour les saisons culturales 1977, 1978, 1979 et 1980 ont montré

que l'augmentation de rendement avec le phosphate soluble est de 350 kg/ha, tandis qu'avec le phosphate naturel il n'est que de 223 kg/ha. L'augmentation de rendement est moindre avec le phosphate local qu'avec le super simple.

Depuis 1977, le projet phosphate du BURKINA-FASO a entrepris des essais et démonstrations sur le phosphate naturel en milieu paysan. Ils portaient essentiellement sur :

- la comparaison du phosphate naturel à un phosphate soluble ;
- les effets résiduels du phosphate naturel comparés à ceux de super triple ;
- les effets des doses croissantes de phosphate naturel ;
- l'étude des formes de phosphate amélioré.

Un essai a été mis en place en 1977 à TO ; il portait sur la comparaison du phosphate naturel avec un phosphate soluble sur un sol hydromorphe, sur sorgho, arachide et petit mil.

Dans tous les traitements et à dose égale de  $P^2O^5$ , le phosphate soluble est supérieur au phosphate naturel. En quatrième année, les deux formes de phosphate ont des effets comparables.

Les effets résiduels du phosphate naturel comparés à ceux des super triple ont été étudiés sur des démonstrations mises en place de 1977 à 1979. Ces démonstrations ont été réalisées sur des sols hydromorphes et sur des sols sableux. Ces essais ont mis en évidence un effet résiduel du phosphate naturel qui semble être surtout approprié à la fumure de fond.

Les effets des doses croissantes du phosphate naturel ont été étudiés à partir des essais mis en place pour une durée de trois ans (1980-1983). Ces essais visaient la comparaison des effets de deux doses de phosphore ( $36 \text{ kg}/P^2O^5/\text{ha}$  et  $54 \text{ kg}/P^2O^5/\text{ha}$ ) apportées sous forme de phosphate naturel, à la dose de  $36 \text{ kg}/P^2O^5/\text{ha}$  apportée sous forme de superphosphate triple et les effets de ces doses lorsqu'elles sont apportées en fumure annuelle et en fumure de redressement et d'entretien. Les résultats obtenus ont montré la supériorité du superphosphate triple.

La faible réactivité chimique des phosphates naturels du BURKINA-FASO limite leur efficacité agronomique lorsqu'ils sont utilisés directement en fumure annuelle.

Pour accroître la soubilisation des phosphates naturels après leur épandage, trois techniques ont été expérimentées :

- acidulation partielle à partir de l'acide sulfurique,
- adjonction du soufre minéral,
- adjonction de la matière organique.

Des essais sur les phosphates partiellement acidulés et sur l'adjonction du soufre minéral ont été entrepris par l'IRAT BURKINA-FASO en 1981-1982, dans deux conditions pédoclimatiques différentes. Les essais ont été réalisés sur trois types de sol : sol ferrugineux à concrétions sols ferrugineux lessivé (SARIA), sol faiblement ferallitique (FARAKO-BA) et concernaient le mil, le sorgho, le maïs et le cotonnier. Les traitements comportaient la comparaison des effets du phosphate naturel, du phosphate naturel acidifié, du phosphate naturel plus soufre et du superphosphate triple.

Tous les traitements ont reçu une même dose d'azote et de potasse.

Le mil et le sorgho ont reçu 25 kg/  $P_2O_5$  /ha, le maïs 50 kg/  $P_2O_5$  /ha et le coton 25 kg/  $P_2O_5$  /ha.

Les résultats ont montré qu'il n'y a pas de différence significative sur sols ferrugineux à concrétions et sur sols ferrugineux lessivés entre le phosphate naturel partiellement acidulé et le superphosphate triple. Sur sol faiblement ferrallitique, le phosphate partiellement acidulé s'est montré supérieur au superphosphate triple en première année, en deuxième année, ils sont équivalents.

Des essais du même type ont été conduits à GAMPELA et ont confirmé les résultats obtenus. Notons que le mélange phosphate naturel et soufre a donné une amélioration des rendements sur maïs.

En 1983, une évaluation du pouvoir fertilisant des phosphates naturels partiellement

acidulés de KODJARI a été faite en vases de végétation. Elle portait sur l'étude de l'évolution du phosphore de ces phosphates et son efficacité sur la croissance d'une plante test dans trois types de sol : sols ferrugineux tropicaux lessivés ou non, sols ferrugineux tropicaux faiblement ferrallitiques (respectivement sols de SARIA et sols de FARAKO-BA au BURKINA-FASO) et sols ferrallitiques rouges (sols d'AMBOHIMAN-DROSO de MADAGASCAR). Deux formes de phosphate naturel (phosphate naturel plus soufre et phosphate naturel partiellement acidulé) ont été appliquées et leurs effets étaient comparés à ceux du phosphate naturel brut et du superphosphate triple. La méthode de mesure utilisée est de la dilution isotopique  $^{32}\text{P}$ .

Cette étude a montré qu'en terme de production de matière sèche, le phosphate partiellement acidulé est équivalent au superphosphate triple dans les sols ferrallitiques rouges (MADAGASCAR). Le phosphate naturel et le phosphate naturel plus soufre, ont donné des rendements équivalents au témoin dans ces sols, donc n'ont pas eu d'effet.

Dans les autres sols, l'effet n'est pas net. En terme de solubilisation et d'efficacité, les résultats montrent que le phosphate partiellement acidulé présente une bonne solubilité et une bonne efficacité sur l'ensemble des sols étudiés.

L'effet du soufre sur la libération du phosphore du phosphate naturel est progressive ; à la troisième coupe, la solubilisation du phosphate plus soufre est comparable à celle du phosphate partiellement acidulé. L'assimilabilité du phosphore croît avec la solubilité, mais l'effet du soufre est dépressif.

Contrairement au phosphate acidulé, la solubilité du phosphate plus soufre est étroitement liée à la nature du sol.

Par ailleurs, une série d'essais en stations ont été conduits en 1981 pour tester l'efficacité des produits obtenus par acidulation partielle des phosphates naturels du BURKINA-FASO ou par adjonction du soufre minéral. Ces essais ont été conduits par l'IBRAZ en coopération avec le projet phosphate et avec l'IFDC et sur les produits TIMAC.

Les essais IBRAZ-projet phosphate ont été menés sur sols ferrugineux tropicaux

lessivés (SARIA) et sur sol faiblement ferrallitique (FARAKO-BA). Ils comportaient la comparaison des effets du phosphate apporté sous 5 formes : phosphate naturel, phosphate naturel partiellement acidulé à 30 %, phosphate naturel plus soufre, superphosphate triple et 1/2 phosphate naturel. Les cultures concernées sont le maïs (50 kg/P<sup>2</sup>O<sup>5</sup>/ha), le sorgho, le mil, le cotonnier (25 kg/ P<sup>2</sup>O<sup>5</sup>/ha). Tous les traitements ont reçu une fumure azotée et potassique. L'expérimentation a duré trois ans.

Sur sols ferrugineux tropicaux lessivés, la faible précision de l'essai (CV 61,02 %) ne permettait pas de tirer de conclusion pour le sorgho. Pour le coton, avec un coefficient de variation de 18,6 %, les résultats n'ont pas été significativement différents.

Sur sols faiblement ferrallitiques (FARAKO-BA), le phosphate naturel, le phosphate naturel partiellement acidulé (30 %) et le superphosphate triple ont eu une efficacité sensiblement voisine. Le phosphate naturel avec soufre et la fumure 1/2 phosphate naturel et 1/2 superphosphate triple ont montré une efficacité nettement supérieure aux autres.

Les essais IBRAZ-IFDC avaient les mêmes objectifs. Ils ont été conduits sur sol ferrugineux tropical lessivé et sur sol ferrugineux tropical gravillonnaire à SARIA. La culture cible était le sorgho. L'essai comportait la comparaison de cinq doses de phosphore (0 - 15 - 30 - 45 - 60 unités de P<sup>2</sup>O<sup>5</sup>/ha) pour chaque type de phosphate (phosphate naturel, phosphate naturel acidulé à 50 %, superphosphate triple) en sols ferrugineux gravillonnaire et 4 doses de phosphore (0 - 30 - 60 - 90 unités P<sup>2</sup>O<sup>5</sup>/ha) en sol ferrugineux tropical lessivé. Un essai en arrière était conduit sur ce dernier type de sol.

En effet direct et du point de vue efficacité par rapport au superphosphate triple aux différentes doses étudiées, le phosphate naturel acidulé à 50 % à 30 kg/P<sup>2</sup>O<sup>5</sup>/ha et le phosphate naturel à la même dose se sont montrés nettement meilleurs au supertriple. Il en est de même des productivités.

En arrière effet, sur sols gravillonnaires, le phosphate brut a eu les arrière effets les plus intéressants. Il a été observé des arrière effets dépressifs avec le

superphosphate triple.

Un essai sur quatre types de phosphate partiellement acidulé produits par le procédé TIMAC (29,03 %, 43,54 %, 58,76 % et 65,32 %) a été conduit. Il a été implanté sur sol ferrugineux tropical lessivé et comportait 7 traitements. Le phosphore a été apporté à la dose de 30 kg  $P^2O^5$ /ha.

La culture cible était le sorgho.

Les résultats ont montré une nette supériorité du superphosphate triple. En terme de productivité, le phosphate naturel, le phosphate naturel acidulé à 43,54 % et le phosphate naturel acidulé à 58,76 % ont donné des résultats presque identiques. (environ 10 kg de grain de sorgho par kg de  $P^2O^5$ , la productivité du superphosphate triple étant de 19kg/kg de  $P^2O^5$ ).

Enfin, de 1982 à 1985, des essais ont été réalisés pour étudier l'effet de la matière organique sur la solubilisation du phosphate naturel. Les essais ont été menés sur (9) implantations géographiques différentes. Les traitements comparaient entre autre l'effet direct et l'effet résiduel des phosphates naturels sans ou avec adjonction de matière organique. Les cultures concernées étaient le sorgho, l'arachide, le maïs et le coton. Les traitements comprenaient deux doses de phosphate naturel, l'une en fumure annuelle (200 kg/ha), et l'autre en fumure de correction (400 kg/ha) avec ou sans fumier (5 tonnes de fumier/ha tous les deux ans). Les résultats ont montré que dans les sols rouges faiblement ferrallitiques, aussi bien sur la culture du cotonnier que sur celle du maïs, le phosphate naturel épandu avec 5 t/ha de fumier de ferme, permet des rendements équivalents à ceux obtenus avec un engrais soluble. Sur les sols ferrugineux tropicaux lessivés (TO) sur le sorgho, seul l'engrais soluble a eu un effet très marqué. Le phosphate naturel n'a pas eu d'effet qu'à très forte dose (400 kg/ha) augmenté en présence de matière organique.

### 1.3.2. Conclusion générale

D'une façon générale, les résultats obtenus sur l'utilisation du phosphate naturel en fumure annuelle ne sont pas probants. Il semble, cependant, avoir un arrière effet. Le phosphate amélioré par acidification partielle (méthode IFDC) 50 % semble avoir une

meilleure efficacité que le phosphore soluble à la dose de 30 kg/P<sup>2</sup>O<sup>5</sup>/ha, et ceci en effet direct. Au contraire, les essais sur les phosphates naturels acidulés selon la méthode TIMAC ont montré la supériorité du phosphore soluble. Les productivités du phosphate naturel, et du phosphate naturel acidulé à 43,54 % et à 58,76 % sont presque identiques. Les résultats concernant l'adjonction du soufre au phosphore naturel sont contradictoires. L'efficacité du phosphate naturel est améliorée par l'adjonction de 5 tonnes de fumier.

CHAPITRE 2

MALI

## 2. MALI

### 2.1. HISTORIQUE

2.1.1. Très tôt, des essais ont été effectués, en vue d'utiliser le phosphate brut de la vallée du Tilemsi, en application directe en culture.

Les premiers essais, peu concluants, furent suivis d'études diverses qui mirent en évidence :

- une solubilité en milieu acide du phosphate du Tilemsi non négligeable,
- une efficacité certaine du phosphate du Tilemsi, convenablement broyé, de manière à accroître sa réactivité dans le sol.

Le résultat de ces recherches a été :

- la réalisation d'une unité de broyage à Bourem,
- une utilisation commerciale du phosphate du Tilemsi en application directe.

Bien que n'étant pas comparable aux phosphates Américains de Caroline du Nord ou de Reno, le phosphate du Tilemsi a donné des résultats significatifs, ainsi qu'il est indiqué au titre 5.

2.1.2. Préalablement à ces essais fut envisagée l'utilisation directe de ce phosphate pour la fabrication d'engrais phosphaté. Deux études importantes ont été effectuées à ce sujet :

- en 1968, par la Société KLOCKNER - INA (RFA), en vue de la fabrication de superphosphate à partir de phosphate du Tilemsi.
- en 1981, par IFDC (USA), en vue de l'application au phosphate du Tilemsi (comme aux autres phosphates des pays membre de l'Autorité Intégrée du LIPTAKO-GOURMA) du procédé de cette Société d'attaque partielle par l'acide sulfurique.

Diverses études de factibilité de superphosphate ont en outre été effectuées entre temps.

## 2.2. ETUDES ET ESSAIS TECHNIQUES

### 2.2.1. Gisement

Le gisement sera décrit ci-après au Titre 6 "Les minerais phosphatés", aussi nous ne résumerons ici que l'essentiel des conclusions auxquelles ont abouti les études.

Le gisement est très étendu, mais encore insuffisamment connu. Seul le gîte de Tamaguilelt a été l'objet d'une étude plus complète, et c'est donc seulement le phosphate de ce gîte qui est pris en considération pour les études.

Ce gisement est d'importance moyenne (de l'ordre de 10 à 20 millions de t).

Le minerai se présente de la manière suivante :

- **minéralogiquement**, il contient :
  - minerai phosphate : 30 à 40 %
  - exogangue stérile : 10 à 40 %

Le minerai lui-même étant constitué d'apatite associée à une endogangue stérile la base de quartz, attapulgite, goethite et oxydes métalliques.

- **chimiquement**, il est caractérisé par :
  - une teneur en  $P^2O^5$  variable, mais en moyenne relativement faible : env. 27 % à 30 %,

- une teneur en silice de l'ordre de 8 à 10 %,
  - une teneur en Fer et Al de l'ordre de 5 à 10 %,
  - une réactivité moyenne aux solutions acides (acide nitrique et acide borique).
- **Agronomiquement**, on observe une solubilisation moyenne dans l'acide nitrique ou l'acide formique, sous réserve d'un broyage préalable.

#### 2.2.2. Utilisation directe en culture

L'utilisation directe en culture a été développée, et pour ce faire une installation industrielle de broyage a été réalisée à Bourem. Celle-ci est capable éventuellement de fournir de l'ordre de :

10 000 à 20 000 tonnes/an

de phosphate broyé et ensaché.

En pratique, les conditions logistiques (difficulté de transport), économique (coûts) et commerciale (manque d'attrait de la forme pulvérulente) n'ont pas permis à l'organisation mise en place de tenir pleinement les objectifs.

La production de phosphate broyé commercialisé, variable suivant les années en fonction des conditions logistiques, atteint au maximum de l'ordre de :

3 à 4 000 tonnes/an

Le § 2.2.3. ci-après, résume les résultats agronomiques de l'utilisation directe en culture du phosphate de Timlemsi broyé.

### 2.2.3. Etude de solubilisation

#### **A - Solubilisation totale par l'acide sulfurique**

Cette solubilisation totale a été envisagée par KLOCKNER - INA (1968) qui a étudié la faisabilité d'une unité de 8 000 à 8 500 t/an de  $P^2O^5$  (solubilisée sous forme de superphosphate simple ou triple), installée à Markala ou Bourem, ainsi que la faisabilité d'une unité de NPK complexes à Koulikoro.

La rentabilité de ces fabrications s'avèrera négative, et l'étude conduit à la seule rentabilité du phosphate broyé.

#### **B - Solubilisation partielle par l'acide sulfurique**

Dans le cadre de l'ensemble des études sur la fertilisation des pays de la région du Sahel, entreprise en 1961 par IFDC, cette Société a étudié la solubilisation du minerai du Tilemsi par attaque partielle, au moyen d'acide sulfurique par le procédé qu'elle a mis au point, et qui est connu sous le nom de :

"Procédé d'acidification partielle du phosphate"

déjà mentionné au chapitre 1 précédent, à propos du BURKINA-FASO.

Ces études ont conclu à l'intérêt de l'acidification partielle pour accroître la solubilité du  $P^2O^5$  contenu dans le minerai du Tilemsi.

Du fait de la solubilité naturelle relative à ce phosphate en milieu acide, l'intérêt d'une

solubilisation partielle parait moins évident que pour les minerais naturellement moins solubles, tels que le minerai de Kodjari au BURKINA-FASO.

Dans ce cas également, la rentabilité d'une unité d'acidification partielle ne peut être assurée.

### **C- Granulation de phosphate en mélange.**

Le phosphate naturel de Tilemsi broyé s'étant révélé être un engrais assez efficace, pratiquement supérieur au PNPA fabriqué à partir de ce minerai, et le principal obstacle à sa diffusion étant sa forme pulvérulente qui en rend l'utilisation difficile, il était naturel de rechercher la possibilité de granuler ce phosphate.

A cet effet, il est apparu intéressant d'étudier la granulation ou le compactage du phosphate :

- soit en l'additionnant d'un produit faisant office de liant, pour lequel il a été pensé à la mélasse résiduaire de sucrerie et au plâtre de Tessalit ;
- soit en l'incorporant dans la fabrication d'un engrais lui-même granulaire, pour lequel on a pensé à un mélange d'urée et chlorure de potassium permettant ainsi d'obtenir un engrais ternaire NPK.

C'est pourquoi le FED a financé une étude qui a été confiée à la société LUX-CONSULT et qui a fait l'objet d'un rapport intitulé : " Essais d'utilisation des phosphates de Tilemsi. Etude de factibilité et essais d'accompagnement" ( décembre 1985).

Cette étude avait pour but de :

- déterminer l'intérêt de la production au MALI d'un engrais phosphaté granulé remplaçant les engrais importés ;

- comparer l'efficacité du phosphate naturel ainsi granulé à l'efficacité des engrais importés ;

et a donc comporté :

- l'étude d'un projet d'usine d'engrais et le calcul de sa rentabilité,
- des essais agronomiques.

LUX-CONSULT, après avoir fait un rapide historique de l'utilisation du phosphate naturel de Tilemsi en épandage direct et des études antérieures (études KLOCKNER, IFAGARIA et IFDC) :

- définit le cadre du projet :
  - . 1 511 274 ha cultivées, dont 1 321 874 en céréales et 189 400 en cultures industrielles ;
  - . consommations 83/84 :
 
$$N = 6\,635\text{ t} - P^2O^5 = 5\,500\text{ t} - K^2O = 2\,963\text{ t};$$
  - . Previsions de consommation 85/86 :
 
$$N = 12\,250\text{ t} - P^2O^5 = 9\,240\text{ t} - K^2O = 3\,110;$$
  - . Estimations de consommation 88/89 :
 
$$N = 15\,120\text{ t} - P^2O^5 = 11\,200\text{ t} - K^2O = 3\,750\text{ t};$$
- donne le résultat des essais agronomiques (en vases de végétations, avec maïs, sorgho, cotonnier, qui conduit au classement suivant des engrais d'après le poids de matière sèche produite :
 

Engrais complexe coton	100
Phosphate naturel broyé	92,4
Phosphate granulé avec mélasse.	89,2
Phosphate granulé avec urée(24 %)	87,1
Phosphate granulé avec urée & SO4K2	90,9
Témoin sans engrais..	80,7
- Fait le point sur le gisement de Tilemsi, l'extraction du phosphate, son

broyage et son transport (par bateau) à Koulikoro où il revient finalement à 33 000 FCFA/t.

Ensuite LUX-CONSULT :

- explicite son projet qui a pour objectif d'utiliser pour la fabrication d'engrais granulé, soit 10 000 t/an, soit 13 350 t/an de phosphate pour produire 11 640 ou 16 040 t/an d'engrais, c'est-à-dire :
  - . 6 500 ou 7 350 t/an d'engrais phosphaté simple (granulation à la mélasse),
  - . 2 680 ou 4 020 t/an de binaires NP de formule 11-22 (granulation à l'urée),
  - . et 2 460 t/an de ternaire NPK de formule 10-18-8 +S ( granulation avec urée et sulfate de potasse) ou 2 460 t/an de 10-18-8+S et 2 210 t/an de 8-20-8 (granulation avec urée et KCl).
- étudie les sites d'implantation de Segou et de Kolikoro, et préconise de préférence une implantation des unités de broyage et de granulation à Koulikoro ;
- donne une description du procédé qui met en oeuvre essentiellement un pré-granulateur et un plateau granulateur, suivis d'un équipement classique de séchage à air chaud, criblage, broyage des gros, ensachage, dépoussiérage ;
- évalue l'investissement nécessaire qu'il estime, à Koulikoro :
  - . pour 10 000 t/an de phosphate : à 1 795 millions FCFA
  - . pour 13 350 t/an de phosphate : à 1 883 millions FCFA ;
- évalue les besoins en personnel qu'il estime pour la solution Koulikoro à 44 ou 52 personnes coûtant annuellement 22 168 812 ou 25 463 125 FCFA/an ;
- évalue les frais d'exploitation à partir des coûts (dont la valeur est indiquée

pour Koulikoro) :

- . des utilités: gas-oil , fuel-oil, electricité( de 30 à 32 FCFA/kwh),
  - . des matières premières : urée à 116 000 FCFA/t en sac, KCl à 100 000 FCFA/t en vrac, sulfate de potasse à 145 000 FCFA/t en vrac , et mélasse à 6 580 FCFA/t ;
- calcule le prix de revient moyen des engrais fabriqués qui sont, à Koulikoro :
- . Pour 10 000t/an phosphate : 67 740 FCFA/t, dont 41 200 hors matières premières ;
  - . Pour 13 350 t/an phosphate : 63 100 FCFA/t , dont 34 500 hors matières premières ;
- en déduit le taux de rentabilité interne, calculé sur 10 ans de fonctionnement, qui, à Koulikoro, atteint les valeurs suivantes suivant les scenarios :
- . Pour 10 000 t/an phosphate : 16,75 à 9,54 %
  - . Pour 13 350 t/an Phosphate : 27,67 à 18,71 %

Ce projet a été controversé, cette granulation revenant à doubler le prix de vente du phosphate local et diminuant son efficacité d'environ 10 %. Par ailleurs, dans la perspective d'une diversification des produits, il serait préférablement envisagé de construire l'usine de granulation à Segou, qui est déjà actuellement le plus grand centre de distribution d'engrais du MALI, notamment pour la CMDT et L'Office du Niger; en ce cas le broyage demeurerait à Bourem et le phosphate serait transporté broyé de Bourem à Segou...

Faute d'autre solution permettant d'utiliser les phosphates du Tilemsi, celle-ci apparait néanmoins comme présentant un certain intérêt ; aussi le FED ne serait pas opposé à son financement. Actuellement une recherche de partenaires et une étude de montage financier seraient en cours.

## 2.3. ESSAIS AGRONOMIQUES

### 2.3.1. Etudes réalisées et résultats obtenus

Les phosphates naturels de Bourem du MALI ont fait l'objet depuis 1965, de nombreux travaux de recherche pour tester leur valeur agronomique.

Ces travaux ont porté sur l'effet direct et les effets résiduels des phosphates sur diverses cultures, ils ont été conduits en stations, en essais régionaux et aux laboratoires.

Depuis 1982, des essais comparatifs de différentes sources de phosphore (phosphate naturel de Tilemsi, phosphate naturel partiellement acidulé et superphosphate triple) sont entrepris en stations et en milieux paysans.

De 1965 à 1976, des essais ont été conduits en stations à N'Tarla, pour comparer l'action de deux formes de phosphates (superphosphate triple et phosphate de Tilemsi).

L'expérimentation a été conduite avec quatre séries parallèles de rotations quinquénales, jachère-coton-sorgho-arachide-sorgho. Deux formules de fumure ont été employées, elles apportaient les mêmes doses d'éléments fertilisants. Dans l'une, le phosphore est apporté sous forme de supertriple (150 kg/ha), et dans l'autre sous forme de phosphate de Tilemsi (500 kg/ha).

L'analyse statistique de tous les essais groupés ont montré que pour toutes les séries de coton, sorgho, arachide-sorgho, il y a identité d'actions entre les deux traitements (phosphates solubles et phosphates tricalciques) aux doses utilisées.

De 1969 à 1971, un nouvel essai a été mis en place sur une rotation triennale coton-sorgho-arachide. Il visait à l'étude de l'effet direct et indirect de l'apport de 3 doses de phosphate de Tilemsi (100 kg/ha, 200 kg/ha et 300 kg/ha, soit respectivement 25, 50, 75 kg/P<sup>2</sup>O<sup>5</sup>/ha) comparativement à un apport d'une dose de superphosphate triple (150 kg/ha, soit 67 kg/ P<sup>2</sup>O<sup>5</sup> /ha). L'azote a été apportée à une dose unique (21 kg/ha sous forme de sulfate d'ammoniaque). L'essai comprenait un témoin absolu et un témoin sans apport de phosphore.

L'expérimentation était conduite en bloc de Fisher avec 8 répétitions. L'engrais a été apporté en tête de rotation sur cotonnier. L'action de l'engrais a été étudiée en effet direct et en effet résiduel.

En effet direct sur cotonnier, les traitements ayant reçu du phosphore n'étaient pas différents, bien que la faible dose de phosphate naturel (25 kg/  $P^2O^5$ /ha) a apporté un supplément de récolte relativement plus faible. Aucune différence d'action n'a donc pas été observée entre le supertriple et le phosphate naturel.

En arrière effet sur sorgho, on n'a pas enregistré de différence entre l'action de deux formes de phosphore, mais la faible dose de phosphate naturel (25 kg/  $P^2O^5$  /ha) a marqué un net fléchissement du rendement atteignant le seuil de signification.

En troisième année de culture (arachide), l'essai ne donnait plus de différence significative.

De 1973 à 1975, un essai de fertilisation phosphatée a été conduit dans la station de M'Tarla M'Pesoba sur une rotation biennale coton maïs : il avait pour objet l'étude des effets direct et indirect de l'apport de deux doses de phosphore (45 kg/kg/  $P^2O^5$  /ha et 90 kg/  $P^2O^5$  /ha) appliquées sous deux formes : superphosphate triple et phosphate de Bourem. L'essai comprenait un témoin absolu et un témoin avec fumure complète.

Les résultats de la campagne 1973, considérée comme année préliminaire ont été éliminés. Sur les deux autres années, les essais sur coton ont montré l'effet positif du phosphore sur les rendements, mais aucune différence significative n'a été observée entre les diverses formes et doses d'apport du phosphore. Ces résultats sont confirmés en arrière effet sur le maïs.

De 1971 à 1977, un essai perenne a été conduit à Kolombada sur une rotation triennale coton-sorgho-maïs (avec interruption d'une année de jachère). Il avait pour objet de comparer l'effet du phosphore apporté sous deux formes (phosphate d'ammoniaque et phosphate tricalcique du MALI et du SENEGAL). Deux doses de phosphate tricalcique du MALI sont testées. (200 kg/ha et 400 kg/ha, soit 50 et 100 kg / $P^2O^5$  /ha).

Au cours du premier cycle (avant jachère) on n'a pas observé de différence entre les traitements avec phosphate d'ammoniaque et phosphate tricalcique. Cependant, les rendements obtenus au cours du 2ème cycle ont été normalement faibles pour la dose de 200 kg de phosphate tricalcique.

De 1969 à 1977, une série d'essais a été réalisée sur la station de recherche de Sotuba et sur les points d'appui de la recherche de Kita du Senou et de Sikasso. Les essais réalisés sont de 3 types :

- étude de la réponse des cultures aux phosphates de Tilemsi et de Taiba apportés en fumure de fond,
- étude de la réponse aux phosphates naturels en présence ou non du super-phosphate triple en fumure d'entretien annuelle,
- étude des modalités de fractionnement de l'apport de phosphate naturel.

Les essais sur la réponse des cultures aux phosphates naturels en fumure de fond ont été réalisés à Sotuba, Kita et Sikasso.

A Sotuba et Kita, ils portaient sur une rotation maïs - arachide - sorgho - arachide - maïs. Ils ont été conduits en trois séries décalées d'un an à Sotuba et en une seule série à Kita. A Sikasso, la rotation était maïs - coton - riz pluvial - arachide - maïs et portait sur une seule série. Dans les trois cas, les apports de phosphates naturels ont été effectués sur la jachère, l'année qui précédait la première culture à Sotuba et à Kita. Deux doses de phosphore ont été testées ( $70 \text{ kg /P}^2\text{O}^5 /\text{ha}$  et  $140 \text{ kg /P}^2\text{O}^5 /\text{ha}$ ) pour le phosphate de Tilemsi et d'une dose unique ( $160 \text{ kg /P}^2\text{O}^5 /\text{ha}$ ) pour le phosphate de Taiba. A Sikasso, les traitements comportaient trois doses de phosphore ( $80 \text{ kg /P}^2\text{O}^5 /\text{ha}$ ,  $160 \text{ kg /P}^2\text{O}^5 /\text{ha}$  et  $240 \text{ kg /P}^2\text{O}^5 /\text{ha}$ ) pour le phosphate de Taiba. Des fumures minérales (azote, soufre, potasse) étaient appliquées sur les différentes cultures de rotation.

La réponse des cultures dans les trois essais ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- Le phosphate de Tilemsi a une très bonne efficacité dès l'année qui suit son application; il a une légère mais régulière supériorité sur le phosphate de Taiba sur la première culture de la rotation.
- Les phosphates naturels ont une excellente efficacité sur l'ensemble de la rotation. Les accroissements de rendement par unité fertilisante ont été très élevés sur céréales à Sotuba et Kita, ils étaient encore importants sur céréales et cotonnier à Sikasso. L'arachide répondait plus modestement aux apports de phosphate, cependant à Sotuba et Kita, les accroissements de rendements enregistrés restent notables.
- La dose de  $80 \text{ kg/P}^2\text{O}^5/\text{ha}$  pour la fumure de fond est insuffisante pour une rotation quadriennale.

En ce qui concerne l'étude de la réponse aux cultures aux phosphates naturels en présence d'une fumure annuelle d'entretien, des essais ont été conduits sur rotation maïs - arachide - sorgho - arachide - maïs - arachide à Sotuba. Des fumures minérales (azote, soufre, potasse) étaient appliquées sur les différentes cultures de rotation avec un apport de  $45 \text{ kg/P}^2\text{O}^5/\text{ha}$  sous forme de superphosphate triple. Les traitements portaient sur la comparaison de l'effet de trois doses croissantes de phosphore apportées en fumure de fond sous forme de phosphate de Tilemsi ( $80 \text{ kg/P}^2\text{O}^5/\text{ha}$ ,  $160 \text{ kg/P}^2\text{O}^5/\text{ha}$  et  $240 \text{ kg/P}^2\text{O}^5/\text{ha}$ ) et une dose de phosphore ( $160 \text{ kg/P}^2\text{O}^5/\text{ha}$ ) en fumure de fond sous forme de phosphate de Taiba et un témoin.

Les phosphates naturels ont été apportés sur jachère l'année précédent la première culture.

Les résultats obtenus ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- le phosphate de Tilemsi est efficace en fumure de fond la première année qui suit l'apport et sur l'ensemble des céréales de la rotation ;

- la fumure d'entretien phosphate soluble (supertriple) a un effet important sur les rendements des céréales en l'absence de fumure de fond et en présence d'un apport initial de  $80 \text{ kg/P}^2\text{O}^5/\text{ha}$  de phosphate de Tilemsi dès la troisième année ;
- sur le total des récoltes de rotation, la combinaison  $80 \text{ kg/P}^2\text{O}^5/\text{ha}$  de phosphate de Tilemsi en fumure de fond et de  $45 \text{ kg/P}^2\text{O}^5/\text{ha}$  en fumure d'entretien annuelle, permet d'obtenir des rendements proches du maximum avec une excellente productivité par unité fertilisante .

Des essais multilocaux ont été conduits en 1972, ayant pour objet la comparaison de deux formes de phosphore (phosphate d'ammoniaque et phosphate de Tilemsi) et de deux doses de phosphate de Tilemsi ( $200 \text{ kg/P}^2\text{O}^5/\text{ha}$  et  $300 \text{ kg/P}^2\text{O}^5/\text{ha}$ , soit respectivement  $50 \text{ kg/P}^2\text{O}^5/\text{ha}$  et  $75 \text{ kg/P}^2\text{O}^5/\text{ha}$ ).

Sur trois sites (Sirakele, Sanandoet et Quelessebougou) une différence sensible est apparue en faveur du phosphate d'ammoniaque. Dans un quatrième site (N'Kourala) on a observé une égalité parfaite entre les différentes formes et doses de phosphate.

Considérant que le phosphate de Tilemsi se prêtait mal à des essais annuels, des essais multilocaux pluriannuels ont été entrepris de 1973 à 1977 dans quatre localités (Cinzorna, Folonda, Kassorala, Barramba). L'expérimentation a été conduite avec une rotation triennale répétée trois fois à une année d'intervalle : (coton - sorgho - arachide et coton - maïs - sorgho). Ces essais portaient sur la comparaison de deux doses de phosphore ( $50 \text{ kg/P}^2\text{O}^5/\text{ha}$  et  $75 \text{ kg/P}^2\text{O}^5/\text{ha}$ ) apportées sous forme de phosphate tricalcique et d'une dose unique ( $48 \text{ kg/P}^2\text{O}^5/\text{ha}$ ) apportée sous forme de phosphate d'ammoniaque.

Les traitements comprenaient un témoin absolu et un témoin avec fumure complète.

En effet direct sur cotonnier et sur plusieurs années, on a observé une supériorité de phosphate d'ammoniaque sur les phosphates tricalciques.

En arrière effet (1ère année) et sur maïs, les diverses doses et formes de phosphore ne se distinguaient absolument pas la forte dose de tricalcique ne semble donc pas avoir

d'intérêt particulier.

En arrière effet (2ème année) que ce soit sur sorgho ou arachide, aucune différence significative n'a pas été relevée en faveur d'une forme ou d'une dose de phosphore.

Par ailleurs, des expérimentations en vases de végétation ont été réalisées dans le cadre du Centre GERDAT de Montpellier (TRAORE, 1976 ; BROUWERS, 1977 ; TRUONG et AL1978 ; PICHOT et AL 1978).

Elles ont porté sur divers paramètres qui influent sur l'efficacité de phosphates naturels : type de sol, ph du sol, finesse du phosphate et ont permis de comparer les effets du phosphate de Tilemsi et du superphosphate triple sur la croissance d'une plante test (agrostis communis). Les résultats indiquent :

- une nette supériorité du phosphate de Tilemsi sur les autres phosphates naturels d'Afrique de l'Ouest ;
- une solubilisation très rapide dans les sols acides où le phosphate naturel est presque aussi efficace que le super triple, une solubilisation plus progressive dans les sols peu acides où la quantité du phosphore mobilisé semble dépendre plus du sol que de la quantité de phosphate apportée ;
- une solubilisation diminuée dans les sols argileux peu acides par la présence de phosphates solubles qui enrichissent en phosphore la solution du sol, alors que dans les sols acides à fort pouvoir fixateur, l'addition de phosphates solubles n'a que peu d'effets ;
- une faible influence de la finesse de mouture sur l'efficacité du phosphate de Tilemsi.

Des travaux récents réalisés par le SAFGRAD ont montré que le phosphate naturel peut être utilisé économiquement en milieu paysan à la dose de 300 kg de phosphate de Tilemsi par hectare (80 kg/P<sup>2</sup>O<sup>5</sup>/ha). Cependant, ces essais en n'utilisant qu'une seule dose d'application de phosphate naturel ne permettent pas de définir une dose

d'application optimale en milieu paysan.

Depuis 1982, des essais sont entrepris par l'IER/IFDC; ils portent sur l'évolution agronomique de différentes sources de phosphates et comprennent :

- une évaluation économique d'une application annuelle de trois sources de phosphates (phosphate naturel, superphosphate triple, phosphate naturel partiellement acidulé PNPA 30) à quatre différentes doses et complémentaire à une application de phosphates naturels à trois différentes doses ;
- une évaluation de la disponibilité initiale en phosphates et de l'effet résiduel d'une seule application de fond de quatre différentes sources de phosphates (phosphate naturel, superphosphate triple, phosphate naturel partiellement acidulé 15, phosphate naturel partiellement acidulé 30 à cinq différentes doses ;
- une évaluation des différences dans la réponse des cultures entre une application de fonds de phosphate naturel et une application annuelle de phosphate naturel, de supertriple, des phosphates naturels partiellement acidulés 30 et 15, chaque engrais étant appliqué à cinq différentes doses ;
- une évaluation de différentes méthodes d'application des engrais phosphatés (phosphates naturels acidulés 30 et 15, supertriple) appliqué à la volée, en ligne ou en paquets.

Au terme de quatre années d'expérimentation, l'analyse des résultats a permis de retenir les observations suivantes :

En rotation coton-céréales, parmi les différentes sources de phosphore étudiées, les rendements moyens en coton-graine obtenus, avec le phosphate de Tilemsi étaient en moyenne supérieurs à ceux obtenus avec le supertriple ou le phosphate partiellement acidulé 30. Pour le maïs, les rendements moyens obtenus avec les applications de phosphates naturels ne sont pas significativement différents de ceux obtenus avec le supertriple. Par contre, ils sont supérieurs à ceux obtenus avec le phosphate naturel

partiellement acidulé 30. Pour la rotation coton - sorgho, on observe les mêmes résultats : le phosphate naturel est équivalent au supertriple, mais supérieur aux phosphates partiellement acidulés. Notons cependant que les applications annuelles de phosphate de Tilemsi testées en zone sèche ont donné des résultats inférieurs à ceux obtenus avec le phosphate soluble.

Dans une rotation maïs - arachide, toutes les sources de phosphore se sont avérées équivalentes.

En rotation sorgho - mil - arachide, aucune différence entre les différentes sources de phosphore ni entre les méthodes d'application n'a été remarquée.

En riziculture, toutes les sources annuelles de phosphate sont équivalentes.

Notons enfin qu'une étude a été conduite en 1985-1986 pour comparer en station de recherche les effets de la fumure phosphatée apportée sous forme de phosphate naturel de Tilemsi granulé simple ou composé et du complexe coton sur les principales cultures au MALI.

Les traitements comportaient la comparaison des effets du phosphate naturel non granulé, du phosphate naturel granulé simple avec vapeur d'eau, du phosphate naturel plus urée (24 %), et du phosphate naturel plus urée plus sulfate de potasse granulé.

L'analyse des résultats a montré que les traitements phosphates sont sensiblement identiques pour le maïs. Pour le coton, le complexe coton s'est révélé meilleur et aucune différence n'a été observée entre le phosphate naturel pulvérulent et les autres formes granulées. Pour le mil, les résultats sont similaires. Pour le sorgho et le riz, aucune différence significative n'a été constatée.

### 2.3.2. Conclusion générale

Le phosphate de Tilemsi est susceptible d'un emploi direct en agriculture. Son effet s'est montré généralement équivalent au superphosphate triple. Ceci est variable dans les régions recevant une pluviométrie suffisante. En zone sèche, les phosphates

solubles donnent les meilleurs résultats. Les rendements obtenus avec le phosphate naturel sont souvent supérieurs à ceux obtenus avec les phosphates partiellement acidulés (PNPA 30 et 15) aussi bien en fumure de fond qu'en fumure annuelle. Ces résultats ont amené le MALI à renoncer définitivement à l'emploi des phosphates partiellement acidulés. D'une manière générale, le phosphate naturel pulvérulent s'est montré supérieur sinon équivalent à toutes formes de granulés simples ou composés; néanmoins l'épandage sous forme pulvérulent reste une contrainte au développement de l'utilisation du phosphate naturel.

**CHAPITRE 3**

**NIGER**

### 3. NIGER

#### 3.1. HISTORIQUE

3.1.1. Le gisement de Tahoua est connu depuis longtemps, et l'utilisation directe en culture du minerai provenant de ce gisement a été pratiquée depuis déjà longtemps.

L'étude rationnelle de la réponse des cultures à l'apport de phosphate naturel broyé de Tahoua se poursuit depuis une dizaine d'années environ, et une commercialisation de ce phosphate a même eu lieu.

Le gisement du Parc du W, de découverte plus récente, et dont la mise en valeur n'a pas encore été amorcée, ne fournit pas de phosphate à l'agriculture Nigérienne.

3.1.2. Deux études techniques importantes ont été effectuées sur les minerais phosphatés du NIGER :

- une étude, effectuée par IFDC, en parallèle avec les études effectuées sur les minerais du BURKINA-FASO et du MALI, en vue d'accroître la solubilité du phosphore des minerais du Parc du W et de TAHOUA par acidulation partielle ;
- une étude, effectuée par SNC, sur la mise en valeur possible du gisement du Parc du W par un enrichissement de ce minerai.

## 3.2. ETUDES ET ESSAIS TECHNIQUES

### 3.2.1. Gisement

Les gisements seront décrits ci-après au Titre 6 : "Les minerais phosphatés", ainsi nous ne résumerons que l'essentiel des conclusions auxquelles ont abouti les études.

**a-) gisement de Tahoua :** gisement peut être très important, se manifestant sous forme d'affleurements dispersés. Le minerai , sous forme de nodules, a les caractéristiques essentielles ci-après :

- **minéralogiquement**, il contient :
  - apatite : 70 %
  - autre (goethite, argiles, oxydes métalliques, silice) : 30 %
  
- **chimiquement**, il est caractérisé par :
  - une teneur en  $P^{205}$  très variable, (15 à 30 %) mais en moyenne relativement faible : env. 25 % à 28 %,
  - une teneur en silice élevée, de l'ordre de 5 à 10 %,
  - une teneur en Fe + Al très élevée, de l'ordre de 12 à 15 %,
  - une réactivité moyenne,
  - une tendance à donner des nodules colloïdaux lors d'attaque par les acides.

- **Agronomiquement**, on observe une certaine solubilisation de ce minerai en sol acide, sous réserve d'un broyage fin séparant le phosphate de la gangue silicieuse : cette solubilisation est assez lente.

**b) Gisement du Parc du W** : placant le NIGER au 1er rang des pays de l'Afrique de l'Ouest quant au potentiel phosphatier (devant le TOGO et le SENEGAL), il existe dans la région du PARC DU W des formations à phosphates d'importance considérable; les réserves dépassent le milliard de tonnes. Le seul gîte méthodiquement exploré est celui de la Tapoa et ses réserves prouvées dépassent déjà 300 million de tonnes.

Le minerai du gîte de la Tapoa a les caractéristiques suivantes :

- **minéralogiquement**, il contient :
  - apatite : environ 70 %
  - ciment silicieux : 20 à 25 %
  - autre (goethite, pyrite, oxydes ,...) : 5 %
- **chimiquement**, il est caractérisé par :
  - une teneur en  $P_2O_5$  relativement faible : 28 %,
  - une teneur en silice très élevée, de l'ordre de 25 %,
  - une teneur en Fe + Al modérée, de 2 à 4 %,
  - une réactivité faible,
- **Agronomiquement**, on observe une certaine solubilisation en sol acide, à condition de broyer ce minerai jusqu'à amener sa granulométrie aux environs de 30 à 50 microns.

- Industriellement, ce minerai est susceptible d'enrichissement.

### 3.2.2. Utilisation directe en culture

- a) L'utilisation en culture du minerai de Tahoua a fait l'objet d'opérations commerciales. A cet effet, une installation de broyage a été montée à Tahoua ; celle-ci est alimentée en nodules collectés à la main par la main-d'oeuvre locale.

Des difficultés ont été rencontrées :

- d'une part au niveau du prix de revient du phosphate broyé,
- d'autre part, au niveau de la consommation, la forme pulvérulente de l'engrais étant peu appréciée et son efficacité (fonction des conditions climatiques) peu évidente, surtout dans les régions à faible pluviométrie.

L'installation de broyage est actuellement arrêtée, et l'utilisation directe en culture réduit à l'écoulement des stocks existants.

La reprise de cette exploitation, prévue au nouveau plan est actuellement à l'étude.

Le § 3.3. ci-après, indique les résultats obtenus en culture.

- b) le minerai du Parc du W n'a pas été utilisé commercialement en culture.

### 3.2.3. Essai de solubilisation des phosphates du Parc du W et de Tahoua

Dans le cadre de la campagne de recherche financée par USAID sur la possibilité d'utiliser les minerais phosphatés d'Afrique occidentale ( BURKINA-FASO, MALI et NIGER, le Ministère du développement Rural du NIGER a confié à IFDC, en juin 1984, la mission d'étudier la solubilisation des minerais du NIGER , au moyen du procédé

d'attaque partielle par l'acide sulfurique de cette société conduisant à une fabrication de PNPA.

Cette étude de faisibilité était liée, à l'origine, au projet de mise en valeur du gisement de la Tapoa ( Parc du W) où se rencontrent les conditions géologiques les plus favorables à une exploitation industrielle et dont le minerai, susceptible d'enrichissement, paraît mieux adapté aux traitements chimiques. Ce n'est qu'ultérieurement qu'elle a été étendue au minerai de Tahoua de sorte que les scénarios envisagés furent les 4 suivants :

- A1 : Fabrication de 100 t/j de PNPA tout-venant à partir de minerai du Parc du W;
- A2 : Fabrication de 100 t/j de PNPA granulé à partir de minerai du Parc du W;
- B : Fabrication de 200 t/j de PNPA tout-venant à partir de minerai du Parc du W;
- C : Fabrication de 75 t/j de PNPA tout-venant à partir de minerai de Tahoua, (cette capacité correspond à la capacité de l'installation de broyage actuelle).

L'acide sulfurique nécessaire pouvait provenir:

- soit d'acide sulfurique produit à Arlit dans l'usine existante de Somair et transporté jusqu'à l'usine de PNPA par route ;
- soit d'une fabrication réalisée sur le site de l'usine de PNPA à partir de soufre importé, dans une unité à construire.

Une étude comparative préalable (non incluse dans le rapport) ayant montré que cette seconde solution est beaucoup plus économique, il n'a été considéré que le cas de production d'acide sulfurique à partir de soufre importé sur le site, et l'investissement correspondant à l'unité d'acide sulfurique a été pris en compte.

Le rapport final de IFDC sur cette étude est très complet. Il commence, après un bref rappel historique, par des considérations relatives au marché des engrais au NIGER et portant :

- sur la consommation officielle d'engrais au NIGER, évaluée en 1982/1983 à :  
 $N = 1\,186 \text{ t/an}$  -  $P^2O^5 = 1\,644 \text{ t/an}$  -  $K^2O = 106 \text{ t/an}$  -  $S = 627 \text{ t/an}$

- sur l'origine du P<sup>2</sup>O<sup>5</sup> utilisé en 1982/1983 :

ex-SSP= 63,6% -ex-TSP =18,6% - ex Tahoua =11,4 % -

ex-15/15/15=6,4%

- sur la répartition de l'utilisation par régions et par types de cultures,

- sur l'importance du marché parallèle, représentant au moins autant que le marché officiel et pouvant fournir jusqu'à 83% du SSP consommé dans certaines régions (Maradi), et sur la difficulté qui existe pour maîtriser ce marché,

et il établit une estimation (purement mathématique, sur la base de taux d'accroissement supputés de 10 et 05 % ) de la consommation future du NIGER en P<sup>2</sup>O<sup>5</sup>, prévoyant :

- Hypothèse basse : 85/86 = 3 849 t/an -95/96 = 9 984 t/an - 2000/2001= 16 079 t/an,

- Hypothèse haute : 85/86 =4 398 t/an - 95/96 =17 794 t/an- 2000/2001= 35 790 t/an.

Les prix de vente officiels des éléments fertilisants étaient alors, en FCFA/kg :

N ex-urée= 109 -S ex-SO<sup>4</sup>H<sup>2</sup>=190 - P<sup>2</sup>O<sup>5</sup> ex-TSP= 98 - P<sup>2</sup>O<sup>5</sup> ex-SSP=200

Après avoir évoqués divers sites d'implantation possibles ( Niamey, Dosso, Say, .. ) pour traiter le minerai du parc du W, le rapport ne retient finalement, pour des raisons logistiques, que celui de Say.

L'unité destinée à traiter le minerai de Tahoua est directement prévue à Tahoua, où existe déjà l'installation de broyage.

On a admis comme prix du soufre rendu en vrac :

- à Say : 131 750 FCFA

- à Tahoua : 140 250 FCFA

L'usine de fabrication de PNPA comprendrait :

- une installation de broyage, capable de broyer le minerai jusqu'à avoir 80 % plus petit que 0,075 mm et l'équipement annexe de manutention, stockage, reprise ;  
Dans le cas de Tahoua, cette unité serait constituée pour sa plus grande partie de l'appareillage existant ;
- une unité de production d'acide sulfurique, de capacité 25 ou 50 t/j suivant le cas, travaillant à partir de soufre importé ;
- une unité d'acidulation du minerai de phosphate par l'acide sulfurique, avec mûrissement du produit avant reprise pour utilisation ;
- une unité de granulation, dans le seul cas de fabrication de PNPA granulé ;
- une unité d'ensachage, chargement et expédition.

Les données prises en compte pour le calcul de faisabilité sont exprimées en US\$ 1984 ; la variation survenue depuis des parités relatives du dollar et des autres monnaies convertibles interdit d'utiliser ces valeurs en \$, aussi les avons nous converties en FCFA au cours de l'époque, soit : 1 \$ = 400 FCFA.

Le TRI a été calculé en supposant que le  $P^2O^5$  du PNPA fabriqué serait vendu au prix du  $P^2O^5$  du SSP en sacs au cours officiel. Ces prix du SSP était alors :

- à Dosso : 87 200 FCFA/t
- à Niamey : 90 400 «

Tableau 4-3-3

Variante :		A1	A2	B	C
Quantité de phosphate	t/an	22 300	22 300	44 600	16 700
Investissement	10 <sup>6</sup> FCFA	3 440	4 560	4 777	2 359
Capital	«	3 840	4 960	5 440	2 750
Amortissement 6,6%	10 <sup>6</sup> FCFA/an	230	304	317	157
Personnel	«	188	216	208	184
Charges fixes totales	«	630	788	824	531
Matières premières	FCFA/tPNPA	12 920	12 920	12 920	24 440
Utilités, sacs, ...	«	8 520	12 520	8 160	8 960
Coût tot. exploitation	FCFA/tPNPA	40 757	52 080	34 960	57 200
Prix de vente (Base SSP)	FCFA/tPNPA	83 600	83 600	83 600	110 400
TRI (hors impots)	%	21,2	14,8	29,7	25,9
TRI à 80% SSP (avec impot 50 %)	%	8,2	4,0	13,7	10,6

Ce calcul fait apparaître un TRI favorable. On peut toutefois se demander si la méthode utilisée, qui fait référence au seul prix officiel du SSP, ne conduit pas à un résultat optimiste en raison de la situation particulière du marché des engrais au NIGER.

Il n'a pas encore été donné de suite à ce projet.

### 3.2.4. Etude pour mise en valeur du gisement du Parc du W

L'importance du gisement de la Tapoa permet d'imaginer une exploitation à grande échelle en vue d'alimenter des marchés extérieurs. C'est dans une telle optique que furent entreprises diverses études fondées sur l'enrichissement du minerai du Parc du W.

Dans le cadre de la coopération Canado-Nigérienne, sous l'égide de l'Agence Canadienne de Développement International, des études furent entreprises à partir de 1979/1980 par le Groupe SNC en vue de déterminer la faisabilité de la mise en valeur de ce gisement.

La première phase de l'étude a comporté :

- Une étude géologique (ONAREM/SNC) ;
- Une étude de marché et des transports (SNC/SORES);
- Une étude d'enrichissement du minerai en laboratoire et en atelier pilote (effectuée par Ontario Research Foundation).

L'étude géologique a porté sur la localisation, l'accès et la géologie du gisement dans le but de définir les réserves. Sa conclusion importante est résumée dans le tableau ci-après :

- Réserves géologiques totales (1978) : 1 254 550 000 t à : 23,0 %  $P^{2}O^{5}$
- Réserves prouvées (1981) : 207 462 500 t à : 23,3 % «
- Réserves possibles (1981) : 374 025 100 t à : 23,1 % «

la réserve prouvée de minerai à teneur en  $P^{2}O^{5}$  supérieur à 20 % atteignant 177 millions de tonnes.

L'étude de marché et des transports a cherché à évaluer le marché potentiel du phosphate au NIGER et dans les pays voisins : NIGERIA, BENIN, COTE D'IVOIRE, MALI et BURKINA-FASO en :

- analysant la demande actuelle de  $P^2O^5$  dans ces pays et explicitant la projection de cette demande jusqu'en l'an 2000 ;
- analysant les systèmes de transports actuels et futurs, ainsi que les coûts de ces transports ;
- précisant la demande que pourrait satisfaire du minerai du Parc du W concentré.

Les conclusions essentielles de cette étude furent :

- Les consommations de  $P^2O^5$  dans les pays étudiés est faible, et l'agriculture intensive préfère les engrais aux phosphates ;  
Le marché potentiel pour usages agricoles pourrait atteindre 4 500 t en 1985 et 14 000 à 26 000 t en 2000.
- Le plus important utilisateur est l'usine de Kaduna (NIGERIA) qui devrait atteindre sa pleine capacité (utilisation de 100 000 t de concentré) vers 1985 et envisager son doublement (utilisation de 200 000 t de concentré) vers l'an 2000.  
L'usine de Kaduna est le plus important utilisateur potentiel de  $P^2O^5$ . Toutefois, le coût du transport à Kaduna du concentré du TOGO ne représente que 60 % du coût du transport entre le Parc du W et Kaduna.
- L'expédition de concentré vers Cotonou en frêt de retour du transport du soufre destiné à alimenter l'usine d'Arlit pourrait être de 70 000t/an en 1980 atteindre 260 000 t/an en 2000, mais le coût du transport représente 1,5 fois le prix FOB international du phosphate.  
Le concentré de phosphate est un produit de faible valeur par rapport à son poids et ne peut supporter de lourdes charges de transport. Les coûts élevés de transport excluent donc les investissements considérables qui seraient nécessaires pour désenclaver le Parc du W.
- La demande potentielle pour du concentré du Parc du W peut s'estimer à :

- en 1985 : environ 160 000 t
- en 2000 : environ 285 000 à 450 000 t

(On notera qu'à l'époque de cette étude le cours du concentré à 34%  $P^{2}O^{5}$  était de 43 US\$ FOB).

Les essais en laboratoire et en atelier pilote ont montré qu'il est possible, par flottation, à partir d'un minerai de Tapoa titrant au moins 20 % de  $P^{2}O^{5}$ , d'obtenir du concentré à 34 %  $P^{2}O^{5}$  comparable aux phosphates actuellement commercialisés à partir du MAROC ou du TOGO.

Au vu de ces résultats, une deuxième phase d'étude fût réalisée en 1982 en vue de déterminer les coûts d'investissement et d'exploitation d'une usine d'enrichissement capable de produire :

160 000 t/an de concentré à 34 % de  $P^{2}O^{5}$ .

ainsi que des ordres de grandeur des mêmes coûts pour un complexe fabriquant acide sulfurique et acide phosphorique à partir de 160 000 t/an de ce concentré.

L'usine d'enrichissement aurait eu les caractéristiques suivantes :

- traitement de 288 000 t/an de minerai à 27%  $P^{2}O^{5}$ , et production de :
  - 115 000 t/an de concentré à grains grossiers à 34,8 %  $P^{2}O^{5}$ ;
  - 45 000 t/an de concentré à grains fins à 33,4 %  $P^{2}O^{5}$  ;en travaillant 7 200 h/an.
- Le minerai est successivement concassé, broyé grossièrement (3 325 microns), mélangé à de l'eau (bouillie à 60% de minerai), broyé dans un broyeur à boulet très finement (1504 microns), et fractionné pour recycler la fraction surdimensionnée (à l'aide d'un hydro-séparateur). De là, le minerai est conduit à la flottation.

- La flottation se fait en plusieurs étages (utilisation de Calgon).
- Les produits sortant de la flottation sont alors séchés (séchoir Holoflite à vis à circulation d'huile chaude) et envoyés au stockage.
- Le  $P^2O^5$  récupéré représente 68,5 % du  $P^2O^5$  du minerai.

et le calcul de faisabilité a été effectué à partir des données ci-après, converties en FCFA au cours du US \$ de l'époque (soit 1 US\$ = 305 FCFA) :

- Investissement : 13 173 millions FCFA
- Amortissement de l'usine en 25 ans
- Dépenses d'exploitation : 1 689 millions FCFA  
Charge unitaire d'exploitation : 10 556 FCFA/t  $P^2O^5$  (soit à l'époque : 34,61 US \$/t de  $P^2O^5$ ).
- Effectif du personnel : 91
- Coût unitaire de production, sans bénéfice : 13 115 FCFA/t de  $P^2O^5$  (correspondant à 43 US \$/t).

Les conclusions de l'étude sont :

- Le retour sur investissement est faiblement négatif (-1,5 %).  
Il pourrait devenir faiblement positif (soit de l'ordre de 0,7 %) en ne prenant pas en compte certains investissements (logement du personnel) et en étant exonéré des redevances très élevées demandées.  
Même si le prix du phosphate atteignait la valeur (qualifiée de normal) de 50 US\$/t, le retour sur investissement avant impôt n'excéderait pas 5,5%.
- Compte tenu des frais de transport W-Kaduna évalués à 14 520 FCFA/t et du fait que le phosphate Togolais arrive à Kaduna à 27 635 FCFA/t, le prix FOB du minerai du W fourni à Kaduna serait de 3 435 FCFA/t (vente à perte).  
En ce cas, pour obtenir un revenu moyen FOB Parc du W de 13 115 FCFA/t, nécessaire à l'équilibre de l'exploitation, il faut vendre le concentré destiné à la

consommation agricole locale 29 250 FCFA , soit un prix encore acceptable.

- Si on voulait arriver à un retour sur investissement de 8 % (ce qui est encore une valeur faible, en vendant 100 000t/an à Kaduna à un prix compétitif avec celui du phosphate du TOGO, le complément devrait être vendu sur le marché local à 43 442 FCFA , ce qui est un prix très élevé.
- La rentabilité n'est que faiblement améliorée pour une usine de capacité double.
- un tel projet n'a aucun avantage à être financé.

L'étude a envisagé le cas d'usines de plus faibles capacités. Une courbe annexée au rapport met en évidence que , dans des conditions identiques de rentabilité (retour sur investissement de 8 %), les prix de revient du P<sup>2</sup>O<sup>5</sup> du concentré sont dans les rapports suivants :

- unité 160 000 t P <sup>2</sup> O <sup>5</sup> /an .....	1
- « 120 000 « .....	1,43
- « 80 000 « .....	2,34

ce qui exclut la possibilité d'envisager de réaliser une unité d'enrichissement de capacité inférieure.

Par ailleurs, le coût d'investissement d'un complexe capable de transformer 160 000 t/an en engrais riche, avec des unités d'acide sulfurique, d'acide phosphorique et de granulation a été évalué à :

76 millions US \$

soit :

23 080 millions FCFA

Le montant très élevé des investissements et la rentabilité quasi nulle d'une telle unité d'enrichissement du minerai du Parc du W ne lui sont guère favorables. L'abondance de

phosphates riches en provenance de gisements d'accès facile, et la baisse survenus sur le prix international FOB de ces minerais ne permettent pas d'envisager une réalisation prochaine d'un projet aussi ambitieux.

### 3.3. ESSAIS AGRONOMIQUES

#### 3.3.1. Etudes réalisées et résultats obtenus

Les travaux de recherche sur l'utilisation des phosphates naturels du NIGER ont commencé en 1967, et se poursuivent actuellement.

De 1967 à 1981, deux essais ont été réalisés par l'IRAT à la station de recherche agronomique de TARNA, près de MARADI sur un sol sableux dunaire.

Le premier essai a été mené de 1967 à 1981, dans le cadre d'une rotation biennale arachide - mil. Quatre niveaux de fumure phosphatée de fond sous forme de phosphate naturel (0 - 50 - 100 - 150 kg/P<sup>2</sup>O<sup>5</sup>) ont été testés en effets directs et résiduels, en présence ou absence d'une fumure phosphatée d'entretien annuelle apportée sous forme de superphosphate triple (15 kg/P<sup>2</sup>O<sup>5</sup>/ha). L'analyse des résultats a montré qu'en absence de fumure phosphatée annuelle soluble, on assiste à une décroissance progressive des effets des apports initiaux. Cette décroissance est plus rapide pour les doses de 50 à 100 kg/ha de P<sup>2</sup>O<sup>5</sup> que pour la dose de 150 kg/ha dont l'efficacité reste notable 10 ans après l'application. En présence de la fumure annuelle, les rendements du mil sont régulièrement plus élevés et les effets des doses de l'apport initial nettement moins marqués.

Les effets des traitements sur les rendements de l'arachide sont très faibles.

Le deuxième essai a débuté en 1971, et s'est poursuivi jusqu'en 1981. Il avait pour objectif de comparer les effets sur les rendements du mil de trois niveaux d'apport initiaux de P<sup>2</sup>O<sup>5</sup> (0 - 65 - 130 kg/ha P<sup>2</sup>O<sup>5</sup>) sous forme de phosphate naturel. Les effets sont mesurés en présence ou en absence de phosphate soluble apportée sous

forme de superphosphate triple (22,5 kg/  $P^{2}O^{5}$  /ha) ou d'un apport de 22,5 kg sous forme de phosphate naturel de Tahoua.

Les résultats ont montré que le phosphate naturel apporté en fumure de fond a une action l'année même de son apport, en présence et en absence de fumure d'entretien. L'efficacité des apports annuels de phosphate naturel varie entre 45 et 65 % par rapport au superphosphate triple. Néanmoins, une incertitude subsiste sur l'efficacité des faibles doses de phosphate naturel en fumure d'entretien (20 kg/  $P^{2}O^{5}$  /ha).

De 1982 à 1985, l'Institut de Recherche Agronomique (INRAN) a réalisé en collaboration avec l'IFDC un programme de recherches ayant pour objectif l'évaluation agronomique et économique des phosphates naturels de Tapoa sous la forme pulvérulente et la forme partiellement acidulée en comparaison avec le superphosphate simple et le superphosphate triple. Les essais consistaient à étudier la réponse du mil aux différentes sources de phosphore et à déterminer l'efficacité agronomique des phosphates naturels partiellement acidulés.

Dans ce cadre, un essai triennal a été réalisé sur sol ferrugineux peu lessivé à Mai Ganji. Les traitements consistaient à comparer 5 sources de phosphore à trois niveaux, soit phosphate naturel en fumure de fond (45 - 90 - 180 kg/ $P^{2}O^{5}$ /ha) et phosphate naturel, phosphate naturel partiellement acidulé 40 %, superphosphate simple et superphosphate triple aux doses 15, 30, 60 / $P^{2}O^{5}$  kg/ha et en fumure d'entretien.

Les résultats obtenus montrent que les phosphates solubles (supersimple et supertriple) surclassent le phosphate naturel, partiellement acidulé ; celui-ci marque cependant une supériorité sur le phosphate naturel pulvérulent en apport de fond ou en apport annuel.

Depuis 1982, des essais sur la comparaison des effets de différentes sources de phosphore ont été entrepris à Sadore et à Gobery par l'ICRISAT dans le cadre d'un programme commun avec l'IFDC.

A Sadore, les sources suivantes ont été utilisées : phosphate naturel du Parc du W, phosphate naturel du Parc du W partiellement acidulé 25 %, phosphate naturel du

Parc du W partiellement acidulé 50 % superphosphate triple et superphosphate simple. Le phosphore a été appliqué à 4 niveaux (10, 20, 30 et 40 kg  $P_2O_5$ /ha). L'expérience a été conduite sur mil.

Les résultats obtenus ont montré un effet significatif du phosphore sur le rendement pour toutes formes et doses de phosphore utilisées.

En ce qui concerne la réponse aux différentes formes de phosphore, il a été observé le classement suivant : superphosphate triple - phosphate naturel acidulé 50 - superphosphate simple - phosphate naturel acidulé 25 - phosphate naturel. Les efficacités relatives de différentes formes à la dose optimale de 30 kg/  $P_2O_5$ /ha étaient les suivantes : 26 %, 78 % et 110 % respectivement pour le phosphate naturel, phosphate partiellement acidulé 25 et phosphate partiellement acidulé 50.

A Gobéry, les essais ont été conduits en milieu paysan. Ils visaient d'abord (1983) la comparaison des effets du superphosphate simple au phosphate naturel partiellement acidulé 50 puis (1984) les effets des phosphates partiellement acidulés 40, du superphosphate simple, du superphosphate triple et du phosphate naturel aux doses de 30, 60, et 90 kg/  $P_2O_5$ /ha sur les rendements du mil. Les résultats n'ont pas mis en évidence une différence significative. Néanmoins, l'étude économique a montré que les phosphates partiellement acidulés 40 et 50 % sont compétitifs avec le superphosphate simple pour un coût respectif d'environ 75 et 80 % de celui du superphosphate simple. Le phosphate naturel a marqué un effet significatif moins économique que les phosphates partiellement acidulés.

Les essais entrepris par le programme engrais Nigérien ont montré que la combinaison phosphate naturel/urée n'était pas économiquement optimale à cause du faible gain en productivité. La productivité résiduelle du phosphate de Tahoua comparée au superphosphate triple est inférieure d'environ 30 %.

### 3.3.2. Conclusion générale

Les phosphates naturels ont un effet résiduel sur les rendements. En fumure d'entretien, leur efficacité semble moins évidente. Leur productivité est inférieure au supersimple et au supertriple. L'apport de phosphate naturel est économiquement moins rentable que l'apport de superphosphate simple.

Le phosphate partiellement acidulé 50 % est techniquement aussi valable que le superphosphate simple, mais économiquement l'avantage demeure en faveur du superphosphate simple.

**CHAPITRE 4**

**SYNTHESE D'ENSEMBLE DES ETUDES ANTERIEURES**

#### 4. SYNTHESE D'ENSEMBLE DES ETUDES ANTERIEURES

BURKINA-FASO, MALI et NIGER ont mené les études en parallèle, dans 2 voies différentes :

- utilisation directe en culture des minerais locaux,
- amélioration de la solubilité du  $P^{2}O^{5}$  de ces minerais par voie chimique.

Le NIGER a en outre étudié la mise en valeur du gisement du Parc du W.

##### a) Utilisation directe en culture des minerais locaux

Les essais en culture et l'expérience pratique ont montré que, à condition de les broyer très finement, tous ces minerais présentent une certaine solubilisation naturelle dans les sols acides de ces régions.

Par ordre de solubilisation naturelle décroissante, ils se classent comme suit :

- Tilemsi,
- Tahoua,
- Kodjari,
- Parc du W.

Cette solubilisation naturelle entraîne une certaine réponse en culture - en particulier pour le minerai de la vallée du Tilemsi - mais le développement de cette utilisation directe en culture, bien qu'effectuée à l'échelle de milliers de tonnes par an, a du mal à se développer. En effet, elle est freinée à la fois :

- par la présentation du produit, dont la forme pulvérulente offre peu d'attrait pour l'utilisateur,

et

- par une réponse faible et variable en culture, très sensible aux conditions climatiques, particulièrement dans les régions à faible pluviométrie.

Le MALI envisage de pallier la difficulté due à la présentation, en granulant le phosphate en mélange avec des matières permettant cette granulation (une mélasse) et notamment en l'incorporant dans un engrais ternaire.

Cette utilisation directe en culture n'est pas considérée néanmoins, en général, comme la solution idéale, les minerais phosphates ne pouvant prétendre atteindre à l'efficacité des engrais contenant du  $P^2O^5$  soluble.

#### b) Solubilisation chimique du $P^2O^5$

La seule voie trouvée à ce jour pour assurer une amélioration de la solubilité du  $P^2O^5$  des minerais est l'acidification partielle par l'acide sulfurique PNPA, suivant la méthode préconisée par IFDC.

Ce procédé, testé par les 3 pays :

- n'assure qu'une solubilisation limitée du  $P^2O^5$  (aux acides faibles et surtout à l'eau).

Les essais agronomiques en vases de végétation, avec des résultats parfois contradictoires permettent de conclure à une efficacité agronomique du PNPA supérieure à celle du phosphate naturel, en particulier dans les sols acides. Cette efficacité augmente avec le taux d'acidulation et il est possible dans certains cas d'obtenir un engrais comparable au SSP ou au TSP.

Les essais en culture ont conduit à nuancer ces conclusions, car il est apparu qu'avec certains phosphates, notamment les phosphates riches en fer et alumine et, en particulier, avec le phosphate de la vallée du Tilemsi, l'effet à long terme est nettement moindre avec le PNPA qu'avec le phosphate naturel (vraisemblablement en raison d'une rétrogradation de solubilité due à la présence du fer et de l'alumine).

-ne conduisait pas, dans les études réalisées, à une rentabilité suffisante des usines projetées, sauf peut-être dans le cas du NIGER.

**c) Mise en valeur du gisement du Parc du W (NIGER)**

L'importance de ce gisement conduit à envisager l'enrichissement de ce minerai, en vue d'obtenir un concentré commercialisable.

L'étude effectuée n'a pas conclu à une rentabilité de nature à justifier, pour le moment, l'importance des investissements nécessaires.