



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50<sup>th</sup> anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

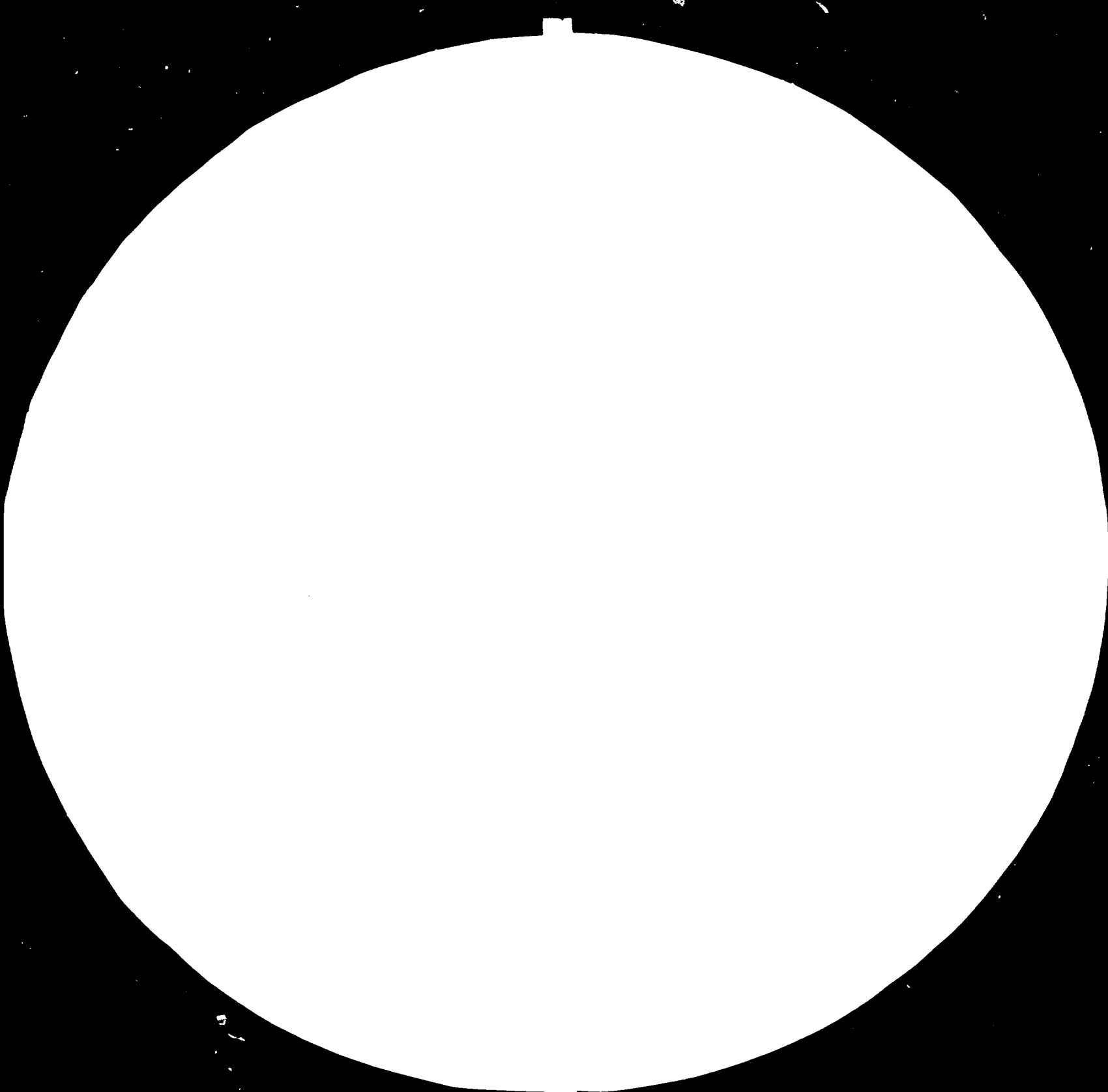
## FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

## CONTACT

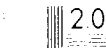
Please contact [publications@unido.org](mailto:publications@unido.org) for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at [www.unido.org](http://www.unido.org)





1.8 2.5



Wavelength: 633 nm, 100% Modulation Transfer Function (MTF) at 1.0 cycles/mm

Resolution: 1.0 cycles/mm, 100% Modulation Transfer Function (MTF)

# 13063

Distr.  
RESTREINTE

ORGANISATION DES NATIONS UNIES  
POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

UNIDO/IO/R.84  
4 février 1983

FRANCAIS

---

ASSISTANCE A LA FORMULATION DU DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL INTEGRE  
DE LA REGION DU LIPTAKO-GOURMA.

UC/RAF/81/063

La stratégie de développement d'une industrie d'engrais  
dans les trois pays du Liptako-Gourma

Etabli pour les Gouvernements de la Haute-Volta, du Mali et du Niger  
par l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel

F. J. E. van Dierendonck

D'après les travaux de M. Van Dierendonck,  
expert en industries des engrais

Notes explicatives

Sauf indication contraire, le terme "dollar" (\$) s'entend du dollar des Etats-Unis d'Amérique.

L'unité monétaire de la Haute-Volta et du Niger est le franc CFA (FCFA). L'unité monétaire du Mali est le franc malien (FM). Durant la période sur laquelle porte le présent rapport, la valeur du dollar des Etats-Unis d'Amérique était en moyenne : 1 \$ = 315 FCFA

600 FM

Les sigles suivants ont été utilisés dans la présente publication :

BVGM	Bureau voltaïque de la géologie et des mines
CILSS	Comité inter-Etats de lutte contre la sécheresse dans le Sahel
CMDT	Compagnie malienne pour le développement des fibres textiles
DGI	Direction générale des industries
IRAT	Institut de recherches agronomiques tropicales
NPK	Azote, phosphate, potasse
ONAREM	Office national de recherche et d'exploitation des ressources minières
OURD	Overseas Uranium Research Development Corporation
SCAER	Société de crédit agricole et d'équipement rural
SOFITEX	Société des fibres textiles
SONAREM	Société nationale de recherche et d'exploitation des ressources minières
UNCC	Union nigérienne de crédit et de coopération

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du Secrétariat de l'Organisation des Nations Unies aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

La mention dans le texte de la raison sociale ou des produits d'une société n'implique aucune prise de position en leur faveur de la part de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI).

RESUME

Dans le cadre du projet UC/RAF/81/063, intitulé "Projet d'assistance à la formulation du développement industriel intégré de la région du Liptako-Gourma", entrepris sur la demande de l'Autorité de développement intégré de la région du Liptako-Gourma, a eu lieu du 3 mai au 2 août 1982, une mission technique dont le but était d'établir une stratégie de développement de l'industrie des engrais dans le Liptako-Gourma.

Après avoir évalué les besoins d'engrais en Haute-Volta, au Mali et au Niger ainsi que l'évolution de la consommation d'engrais depuis 1970, l'expert a examiné les possibilités d'utiliser les phosphates naturels pour la fabrication d'engrais ainsi que comme fumure de fond et d'entretien. Sans amélioration de leur réactivité, l'utilisation des phosphates bruts restera faible.

Les ressources naturelles disponibles dans la région pour la fabrication des engrais (phosphates naturels, gypse, sulfures, etc. et ressources hydrauliques) ont été étudiées dans les trois pays. Les réserves de phosphates naturels de Kodjari (Haute-Volta), du Parc du W, de Tahoua (Niger) et de la Vallée de Tilemsi (Mali) permettent d'envisager une exploitation industrielle à long terme.

Par suite de l'enclavement de la région, la commercialisation des engrais ne saurait être envisagée sur le marché mondial.

Un projet de fabrication d'engrais phosphatés a été élaboré et les coûts de production évalués.

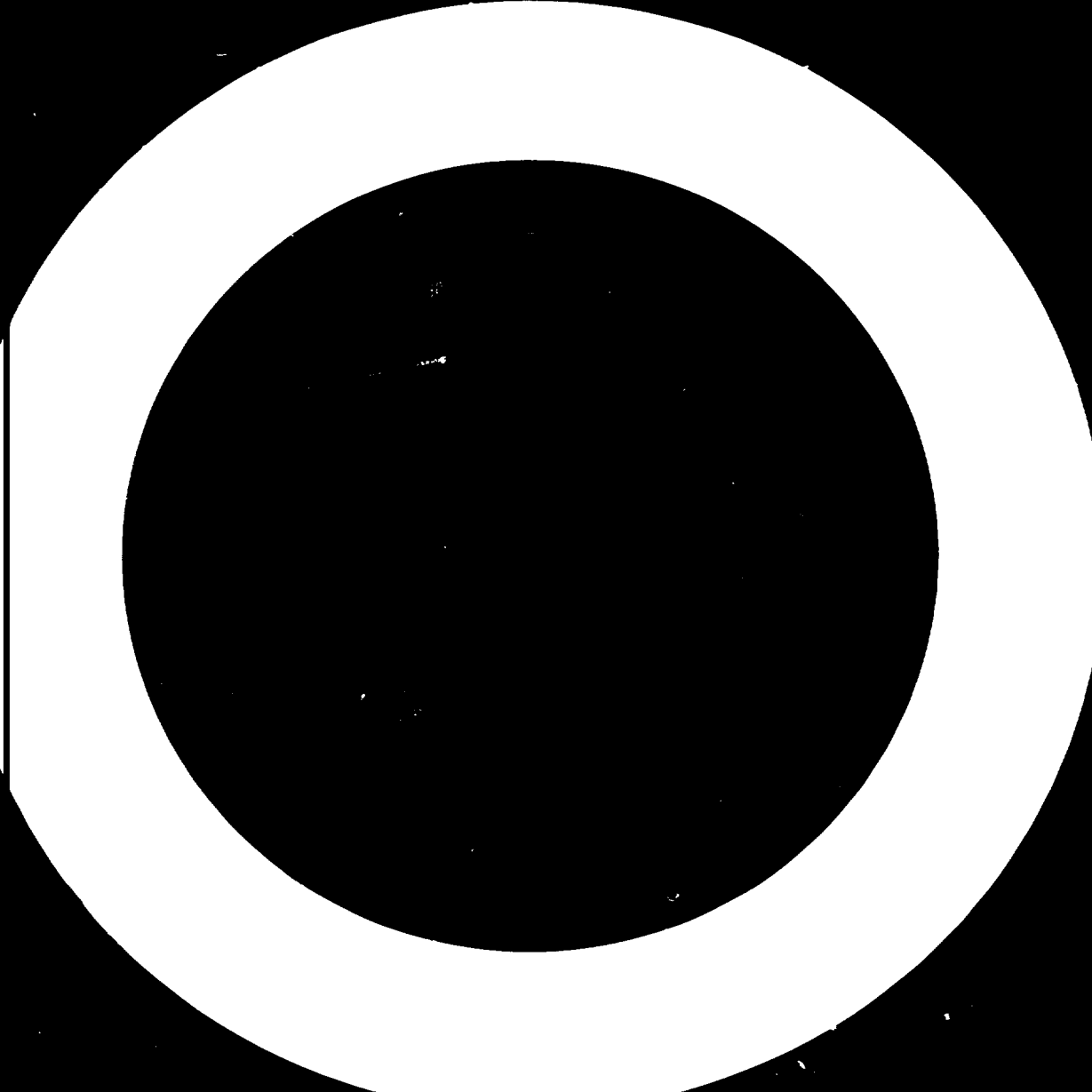


TABLE DES MATIERES

<u>Chapitres</u>	<u>Page</u>
INTRODUCTION .....	7
I. EVOLUTION DE LA CONSOMMATION DES ENGRAIS .....	8
A. Besoins d'engrais au Niger .....	8
B. Besoins d'engrais au Mali .....	12
C. Besoins d'engrais en Haute-Volta .....	19
D. Conclusion .....	24
II. UTILISATION DES PHOSPHATES NATURELS .....	25
A. Utilisation des phosphates naturels pour la fabrication des engrais .....	25
B. Emploi des phosphates naturels comme fumure de fond et d'entretien.....	26
III. EVALUATION DES RESSOURCES LOCALES DISPONIBLES POUR LA FABRICATION DES ENGRAIS .....	31
A. En Haute-Volta .....	31
B. Au Niger .....	37
C. Au Mali .....	48
IV. PLAN DIRECTEUR POUR LE DEVELOPPEMENT D'UNE INDUSTRIE D'ENGRAIS ..	54
V. PROJETS DE FABRICATION .....	59
A. Description du projet .....	59
B. Essais préliminaires .....	60
C. Coûts .....	61
<u>Annexes</u>	
I. Données du barrage de Kandadji .....	65
II. Gisements de Kodjari, Tahoua et Tilemsi. Etat actuel d'exploitation .....	66
III. Liste des organismes visités .....	70
BIBLIOGRAPHIE .....	72



Tableaux

1. Evolution de la consommation d'engrais au Niger .....	9
2. Répartition de la consommation d'engrais par région au Niger .....	11
3. Evolution de la consommation d'engrais au Mali .....	14
4. Répartition des besoins d'engrais par cultures au Mali .....	16
5. Répartition de la consommation d'engrais par type d'engrais et cultures au Mali .....	17
6. Evolution de la consommation d'engrais en Haute-Volta .....	20
7. Répartition de la consommation d'engrais par cultures en Haute-Volta .....	23
8. Consommation d'engrais prévue pour 1970 .....	24
9. Caractéristiques des divers phosphates .....	28
10. Données principales relatives aux gisements de phosphates .....	32
11. Analyse granulométrique du grès phosphaté de Kodjari .....	35
12. Composition chimique des divers échantillons .....	39
13. Composition des trois horizons .....	42
14. Composition chimique du phosphate de Tilemsi .....	51
15. Coûts d'investissements .....	61
16. Estimation préliminaire des coûts de production (acide sulfurique)	63
17. Estimation préliminaire des coûts de production (superphosphate simple) .....	64

## INTRODUCTION

Dans le cadre du projet UC/RAF/81/063, intitulé "Projet d'assistance à la formulation du développement industriel intégré de la région du Liptako-Gourma", entrepris sur la demande de l'Autorité de développement intégré de la région du Liptako-Gourma, a eu lieu du 3 mai au 2 août 1982, une mission technique dont le but était d'établir une stratégie de développement de l'industrie des engrais dans le Liptako-Gourma.

Les objectifs de la mission étaient d'évaluer la consommation des engrais dans les trois pays concernés - et spécialement dans la région du Liptako-Gourma - ainsi que d'examiner la possibilité d'utiliser les phosphates naturels et d'évaluer les ressources disponibles pour la fabrication d'engrais.

## I. EVALUATION DE LA CONSOMMATION DES ENGRAIS

### A. Besoins d'engrais au Niger

L'utilisation des engrais au Niger, pratiquement inexistante il y a 20 ans, s'est développée très rapidement depuis 1970 (voir tableau 1). La consommation totale d'engrais est passée de 2 200 t en 1970 à 6 100 t en 1980, augmentant de 12 % en moyenne par an. Toutefois, on emploie six fois plus d'urée en 1980 qu'en 1975. Jusqu'à présent, le Niger a dû couvrir la plus grande partie de ses besoins d'engrais par des importations sauf en ce qui concerne le phosphate naturel de Tahoua.

De 1977 à 1981, la valeur des engrais importés représentait environ 2 % de la valeur totale des importations (en 1981 : 134,5 milliards de FCFA, dont 2,2 milliards pour des engrais). A partir de 1978, les engrais ont été importés du Nigéria (urée, superphosphate simple et 15-15-15) dont les prix sont très inférieurs à ceux du marché mondial. Ceci explique la prédominance de ces types d'engrais dans l'ensemble des importations actuelles. D'autre part, les subventions accordées par l'Etat aboutissent à des prix de cession assez bas (35 FCFA/kg pour l'urée, 20 FCFA/kg pour le superphosphate simple et 30 FCFA/kg pour le 15-15-15 en regard de prix actuels sur le marché mondial de 141, 120 et 165 FCFA/kg respectivement.

Cependant, et malgré un rapport coût/utilité très favorable, l'utilisation des engrais reste toujours faible; elle ne dépasse pas 3 kg/ha et moins de 15 % des exploitants les utilisent d'une manière régulière.

Les types d'engrais les plus utilisés sont actuellement : le superphosphate simple (18-20 %  $P_2O_5$ ), l'urée (46 % N) et l'engrais composé ternaire 15-15-15, qui représentent respectivement 44 %, 32 % et 17 % de la consommation totale.

La consommation de phosphate naturel reste toujours faible; de 500 à 600 t/an seulement sont utilisées, bien que les gisements de Tahoua soient exploités depuis 1976. Au Niger, le phosphate naturel est recommandé pour amender les sols appauvris, à raison de 300 kg/ha tous les quatre ou cinq ans. L'épandage est toujours suivi d'apports annuels d'entretien d'engrais

Tableau 1. Evolution de la consommation d'engrais au Niger  
(en tonnes)

Engrais simples	Cultures	1970	1975	1977	1978	1979	1980	1981	1982
<b>Engrais simples</b>									
Urée (46 % N)	Riz, mil, coton		355		2 476	2 467	1 566	2 532	3 169
Sulfate d'ammoniac (21 M)			465		50	4	-	-	-
Superphosphate simple 18-20 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Mil, arachide, niébé		819		1 881	1 077	2 502	3 430	12 448
Superphosphate simple 44-46 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Arachide, cultures maraichères		206		438	605	225	-	-
Chlorure de potassium 60 % K <sub>2</sub> O	Cultures maraichères		46		3	2			
Autres						22	204		
<b>Engrais composés</b>									
15-15-15	Riz, cultures maraichères		100		792	581	991	1 300	1 980
14-7-7	Céréales		9						
20-20-0	Coton					25			
14-23-12-6-2	Coton								
<b>Total des engrais</b>		<b>2 215</b>	<b>2 079</b>		<b>5 640</b>	<b>4 783</b>	<b>6 115</b>	<b>7 787</b>	<b>18 045</b>
dont : engrais composés			109		792	606	991	1 300	980
: phosphates naturels						350	607	509	448

Sources : UNCC, FAO, Douane.

chimiques et solubles comme le superphosphate simple ou triple. Le phosphate naturel est surtout employé dans les projets d'aménagement des cultures fluviales. Les exploitants ordinaires ne l'utilisent pas.

En 1980, on utilisait pour les engrais, en éléments fertilisants primaires, 1 150 t d'azote; 750 t d'anhydride sulfurique et 140 t de chlorure de potassium, soit 2 040 t de NPK au total, c'est-à-dire que la teneur moyenne en éléments fertilisants était d'environ 30 %; la concentration en éléments nutritifs dans les engrais importés est donc relativement basse à cause de l'achat du superphosphate simple au lieu du superphosphate triple.

Selon la répartition des besoins en 1980, le riz irrigué, avec une consommation de 2 400 t (1 600 t d'urée plus 800 t de 15-15-15), est la plus importante culture consommatrice d'engrais (un tiers du total), suivi par le mil, le niébé et l'arachide. Pour le riz irrigué, on a utilisé en 1980, 856 t de N (74 % du total) et 120 t de  $P_2O_5$  (16 % du total), en regard de 300 t de N (26 % du total) et de 630 de  $P_2O_5$  (84 % du total) pour l'ensemble des autres cultures (mil, niébé, arachide).

La répartition de la consommation selon les régions montre (voir tableau 2) que dans la partie nigérienne du Liptako-Gourma (Dosso et Niamey) 5 047 t d'engrais ont été utilisées en 1981 soit 65 % du total national. Dans le contexte du plan de distribution pour 1982, plus d'un tiers des approvisionnements totaux d'urée et de supersimple et plus de 60 % de 15-15-15 ont été mis en place dans la région nigérienne du Liptako-Gourma, soit 6 741 t ou 40 % du total.

Si le rythme de croissance enregistré pendant la période 1970-1980 se maintient et si le rapport coût/utilité continue d'être favorable, la consommation globale sera de 9 840 t vers 1985 et de 15 860 t vers 1990. Toutefois, selon les prévisions officielles, la consommation des engrais devrait atteindre 18 760 t; celle du phosphate naturel 6 460 t vers 1985. Si on tient compte du fait qu'en dehors des périmètres irrigués l'emploi d'engrais, en dépit des subventions, reste toujours faible à cause des contraintes dues à la pluviosité, de la faible commercialisation des produits agricoles et du système de distribution d'engrais insuffisamment développé, les prévisions officielles semblent optimistes. L'expansion des périmètres

Tableau 2. Répartition de la consommation d'engrais par région au Niger(en 1981)

Engrais	Ensemble du pays	Niamey	Dozzo	Liptako-Gourma (partie nigérienne)	En pourcentage de la consommation
	(en tonnes)				
Urée	2 532	1 600	217	1 817	72
Superphosphate simple	3 430	100	2 120	2 220	65
15-15-15	1 300	800	115	915	70
14-23-12	23	-	23	23	100
Phosphate naturel	503	-	72	72	100
	-----	-----	-----	-----	-----
<b>Total</b>	<b>7 788</b>	<b>2 500</b>	<b>2 547</b>	<b>5 047</b>	<b>65</b>

irrigués est le facteur déterminant pour la croissance des besoins d'engrais pendant la période 1980-1990. La superficie actuellement irriguée et aménagée le long du fleuve Niger est d'environ 4 000 ha et de 2 700 ha dans les autres régions, soit au total 6 700 ha dont la moitié donne deux récoltes de riz par an. Les travaux à entreprendre concernent une superficie totale de 9 300 ha. Les périmètres en cours d'aménagement le long du fleuve Niger représentent une superficie totale cultivable supplémentaire de 3 500 ha. D'autres projets, en attente de moyens de financement, intéresseront une surface de 5 500 ha. L'expansion des surfaces irriguées (riz) sur 9 000 ha représentera des besoins additionnels de 3 600 t d'urée et de 1 800 t de 15-15-15. Cela signifie que la consommation d'engrais pour le riz irrigué sera d'environ 5 200 t d'urée et de 2 600 t de 15-15-15 soit 7 800 t d'engrais vers 1990.

Si les autres cultures, comme le mil, le niébé et l'arachide, représente 25 % de la consommation totale d'urée et 80 % de la consommation de phosphate, les besoins totaux s'élèveront à 7 000 t d'urée, 2 600 t de 15-15-15 et 8 000 t de superphosphate simple vers 1990, soit 17 600 t d'engrais au total, ou, en tonnes d'éléments fertilisants :

Eléments fertilisants	1980	1990
	En tonnes	
N	1 150	3 600
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	750	2 000
K <sub>2</sub> O	140	400

L'utilisation prévue du phosphate naturel comme épandage de fond restera très faible, surtout à cause de son prix élevé (58 FCFA/kg), du faible effet immédiat sur les rendements, de sa teneur en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> variable et de sa qualité physique (poudre broyée à une finesse de 100 microns difficile à épandre).

#### B. Besoins d'engrais au Mali

En raison de vastes opérations pour augmenter la productivité au sud du pays (coton, maïs, riz pluvial), au centre (arachide, cultures vivrières) et le long du fleuve Niger jusqu'à Mopti (riz irrigué, canne à sucre), les

besoins d'engrais se sont rapidement accrus, passant de 12 400 à 38 000 t, à un taux moyen d'environ 13 % par an pendant la période 1971-1981 (voir tableau 3). Le recul enregistré de la consommation d'engrais en 1982 était dû à la sécheresse mais surtout à l'effritement des marges bénéficiaires par suite d'une augmentation des prix de cession par rapport au prix des produits agricoles. En effet, le montant des subventions accordées par l'Etat aux consommateurs d'engrais a diminué, il y a trois ans, et les prix de cession accordés pour les différentes opérations sont actuellement 205 FM/kg (340 dollars/t) pour l'urée, 210 FM/kg (350 dollars/t) pour la formule coton et 150 FM/kg (250 dollars/t) pour le superphosphate simple contre des prix de revient de 500, 500 et 250 dollars/t respectivement, c'est-à-dire que les engrais coûtent trois fois plus cher qu'au Niger et en Haute-Volta et ne laissent aux cultivateurs maliens que très peu de bénéfices.

Tous les engrais chimiques sont importés et la plupart des approvisionnements se font à partir des usines de fabrication à Dakar et à Abidjan, sauf pour l'urée et le phosphate d'ammoniac. La valeur des engrais importés en 1980/81 est estimée à environ 14 millions de dollars, ce qui représente un peu plus de 2,5 % de la valeur totale des importations (320 millions de dollars). Cependant, le pays reçoit une aide substantielle de l'extérieur pour s'approvisionner en engrais.

Les types d'engrais les plus vulgarisés sont les engrais composés pour le coton et les cultures maraîchères (57 % du total), l'urée (25 % du total), dont l'emploi pour la culture du coton et les cultures vivrières (riz, maïs, mil) a sextuplé depuis 1971, le phosphate d'ammoniac pour le riz et les autres céréales (9 % du total), enfin le superphosphate simple (7 % du total) pour l'arachide dont l'emploi a diminué de moitié depuis 1975 (voir tableau 3). Le phosphate naturel de Tilemsi broyé à une finesse de 100 microns (poudre très fine) est utilisé au Mali comme fumure de fond (300 kg/ha, la première année) et engrais d'entretien (50-100 kg/ha les années suivantes).

Bien que le phosphate naturel ait été introduit en 1977 dans le but de remplacer peu à peu les engrais phosphatés importés, sa consommation est restée faible. La production en 1981 et 1982 a été de 8 800 t dont seules 3 000 ont été vendues à l'Office du Niger (riz irrigué : 2 500 t), au CMDT (coton, maïs : 400 t pour des essais) et aux cultivateurs privés (bananiers : 100 t). Les petits cultivateurs n'en achètent pas et la vulgarisation se heurte à de multiples contraintes, telles que :



Tableau 3. Evolution de la consommation d'engrais au Mali

		1971	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
<u>Engrais simples</u>	<u>Cultures</u>	(en tonnes)								
Urée (46 % N)	Coton, riz, céréales	1 700	800	1 525	1 950	5 806	8 811	9 709	12 690	5 400
Sulfate d'ammoniac (21 M)	Thé, tabac	2 700	700	-	-	430	575	495	-	120
Superphosphate simple (18-20 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Arachide	2 500	5 000	3 817	4 420	3 433	3 109	2 553	3 070	2 700
Superphosphate triple (44-46 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Riz, canne à sucre		50	50				350	135	-
Chlorure de potassium (60 % K <sub>2</sub> O)	Cultures maraichères	90								
Sulfate de potassium (50 % K <sub>2</sub> O)	Tabac	50				37	45	47		
<u>Engrais binaires</u>										
Phosphate d'ammoniac (16-48)	Riz, céréales, cultures maraichères	5 400	1 200	570	600	1 534	2 046	3 572	1 482	1 217
<u>Engrais ternaires</u>										
8-31-0-65.1,6 Bo	Coton Cultures maraichères		8 930							
3-23-13-85-2,5 Bo				7 699	12 350	15 690	19 110	22 070	20 295	14 000
<b>Total des engrais</b>		<b>12 440</b>	<b>16 700</b>	<b>13 690</b>	<b>19 320</b>	<b>26 930</b>	<b>33 700</b>	<b>38 746</b>	<b>37 679</b>	<b>23 440</b>
dont : engrais composés : phosphate de Tilemsi		5 400	10 130	8 270	12 950	17 224	21 160 600	25 640	21 777 3 000	15 217

Sources : SCAER, CMDT, Opérations diverses, Douane.

- La nature physique du produit (poudre trop fine pour être épandue);
- L'absence d'effets immédiats et significatifs comparables à ceux des engrais phosphatés solubles);
- Le système foncier;
- Les marges bénéficiaires très étroites.

En ce qui concerne la répartition de la consommation d'engrais par culture, 59 % de la consommation en 1980/81 ont été utilisés pour le coton, 17 % pour le riz, 13 % pour les autres céréales (maïs, mil), tandis que l'arachide et les autres cultures (thé, tabac, maraichères) représentaient environ 7 % et 4 % dans l'ensemble de la consommation totale (voir tableau 4 et 5).

La consommation d'engrais atteignait en 1980/81 un total de 18 340 t de NPK, dont 8 080 t d'azote, 7 390 t de phosphate ( $P_2O_5$ ) et 2 870 t de potasse ( $K_2O$ ), ce qui indique que la teneur en éléments nutritifs dans les engrais employés s'élevait d'ores et déjà à 47 % en moyenne.

Quarante-deux et demi pour cent de l'azote consommé ont été utilisés pour le coton, 28 % pour le riz, 25,5 % pour le maïs et le mil. Pour les mêmes cultures, l'utilisation du phosphate était respectivement de 65 %, 10 % et 7 %, tandis que pour l'arachide seul 7 % étaient utilisés. Quatre-vingt quinze pour cent de la potasse étaient utilisés pour le coton et le reste pour les cultures maraichères et le tabac (voir tableau 5.)

Le rythme de croissance de presque toutes les cultures - sauf l'arachide dont la consommation actuelle est tombée au niveau de 1971 - s'était accéléré et la consommation d'engrais par hectare de surface cultivée a nettement augmenté et est passée de 12,5 kg en 1975 à 21 kg en 1980/81. Plus de 80 % de la surface cotonnière - environ 15 % de la surface rizière et moins de 10 % des surfaces cultivées de maïs et d'arachide bénéficient d'ores et déjà d'apports réguliers d'engrais.

Presque toute la consommation d'engrais est concentrée dans la partie occidentale du pays, dont 66 % au sud-ouest, 16 % au nord-ouest et 18 % au centre. La consommation d'engrais dans la partie malienne du Liptako-Gourma est négligeable (moins de 1 %) (voir tableau 4).

Tableau 4. Répartition des besoins d'engrais par cultures au Mali (1980/81)

	Total		NPK		Urée		Super-phosphate simple		DAP		SA/TSP
	en tonnes	En pourcentage	en tonnes	En pourcentage	en tonnes	En pourcentage	en tonnes	En pourcentage	en tonnes	En pourcentage	En tonne
Coton	22 400	59	20 800	95	1 600	16,5					
Maïs/mil	5 170	13	-		4 100	42,3			1 070	30	
Riz	6 500	17	-		4 000	41,2			2 500	70	
Arachide	2 550	7	-		-		2 550	100			
Autres	2 100	4	1 200	5	-						900
<b>Total</b>	<b>38 700</b>	<b>100</b>	<b>22 000</b>	<b>100</b>	<b>5 700</b>	<b>100</b>	<b>2 550</b>	<b>100</b>	<b>3 570</b>	<b>100</b>	<b>900</b>

Répartition des besoins d'engrais par régions (en 1980/81)

<u>Région</u>	<u>En pourcentage</u>
Sud-ouest	66
Nord-ouest	16
Centre	18
Liptako-Gourma	1

Tableau 5. Répartition de la consommation d'engrais par type d'engrais et cultures au Mali (1980/81)

Cultures	Engrais	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O		
		Total en tonnes	En pourcentage	Total en tonnes	En pourcentage	Total en tonnes	En pourcentage	
Coton	Composé	2 704		4 784		2 704		
	Urée	736		-		-		
	Total	3 440	42,5	4 784	65	2 704	94	
Riz	Urée	1 886						
	16-48	171		514				
	Total	2 057	25,5	514	7			
Arachide	Urée	1 840						
	16-48	400		1 150				
	Total	2 240	28	1 150	16			
Autres	SSP	-	-	510	7			
Total		250	4	376	5	156	6	
Total		8 080	100	7 390	100	2 870	100	
	dont	Urée	4 466	55,3	-	-	-	-
		Sulfate d'ammoniac	101	1,2	-	-	-	-
		NPK composé	2 870	35,5	5 076	68,7	2 870	100
		643		1 643	22,2	-	-	
		Superphosphate triple	-	-	160	2,1	-	-
		Superphosphate simple	-	-	510	7	-	-
			100		100		100	

Les besoins d'engrais prévus dans le Plan quinquennal pour 1985 s'élèvent à 24 200 t d'engrais azotés, 34 000 t d'engrais phosphatés et 31 500 t d'engrais composés soit 89 700 t en tout. Au cas où le taux de croissance enregistré pendant la période 1971-1981 se maintiendrait - ce qui n'est pas sûr - les besoins globaux seraient de 62 000 t vers 1985 et de 114 000 t vers 1990.

Il semble, cependant, peu réaliste de prévoir une telle évolution étant donné les contraintes financières auxquelles doit faire face l'approvisionnement, les montants des subventions nécessaires, et la faiblesse du taux de commercialisation des produits vivriers. Les futurs besoins seront fonction de l'expansion des cultures de coton et de riz irrigué et de maïs.

Pour le coton, on prévoit que la surface encadrée atteindra 125 000 ha vers 1987-1990 et que les besoins d'engrais s'élèveront à 32 000 t d'engrais composés (13-23-13) et à 6 300 t d'urée. Pour le maïs, dont la surface encadrée atteindra 50 000 ha, les besoins relatifs à l'encadrement seul s'élèveront à 5 000 t d'urée vers 1987-1990.

Pour le riz qui, selon les plans de développement, couvrira une surface irriguée et aménagée de l'ordre de 80 000 ha vers 1987-1990, on calcule les besoins d'engrais à environ 8 000 t d'urée et 5 000 t de phosphate d'ammoniac ou autres engrais phosphatés.

Pour l'ensemble des cultures mentionnées ci-dessus, les besoins globaux s'élèveront à 56 000 t vers 1987-1990 dont 32 000 t d'engrais composés, 19 000 t d'urée et 5 000 t d'engrais phosphatés. En estimant globalement à 10 000 t le besoin d'engrais phosphatés supplémentaires pour l'arachide, on arrivera à un total de 15 000 t d'engrais phosphatés.

On prévoit les besoins d'engrais suivants pour 1990 :

<u>Éléments fertilisants</u>	<u>1980/81</u>	<u>1990</u>	<u>Taux de croissance annuelle de la consommation d'engrais</u>
	(en tonnes)		(en %)
Azote	8 080	14 000	8-9
Phosphate	7 390	12 000	6-7
Potasse	2 870	4 200	5-6

Ce rythme de croissance des besoins d'engrais correspond aux prévisions officielles maliennes.

### C. Besoins d'engrais en Haute-Volta

En Haute-Volta, également, la consommation d'engrais a rapidement progressé depuis 1970 et surtout depuis 1978, passant de 2 700 t en 1970 à 23 600 t en 1980, ce qui représente un accroissement spectaculaire d'environ 24 % en moyenne par an pendant 10 ans (voir tableau 6), ce qui indique que la demande réelle n'est pas encore entièrement couverte.

Jusqu'en 1980, l'engrais composé était livré au cultivateur au prix de 35 FCFA/kg et l'urée à 40 FCFA/kg, et était donc fortement subventionné, si on considère que le prix de revient était de 94 FCFA/kg. A partir de 1981, le prix de cession pour l'engrais composé a été porté à 40 FCFA/kg et celui de l'urée à 60 FCFA/kg. Cette augmentation ainsi que la pluviosité qui a frappé les régions agricoles du pays au début de la saison et l'importante réduction des superficies cultivées en coton qui en a résulté, on provoqué une chute de la consommation à environ 16 000 t en 1981/82.

Il n'y a pas de fabrication d'engrais chimiques et la totalité des besoins d'engrais est importée. La valeur des engrais consommés en 1980 (8 millions de dollars) a représenté 2 à 3 % de la valeur totale des importations. De 25 à 30 % des engrais ont été fournis par l'aide extérieure sous forme de dons. La presque totalité (86 %) des engrais utilisés est constituée par l'engrais composé appelé "engrais coton", qui est également utilisé pour les cultures vivrières (maïs, mil/sorgho, arachide) et pour la canne à sucre. La formule coton a évolué de 18-35-0 à 14-23-15 depuis 1978 et est pratiquement la même que celle utilisée au Mali. Voir tableau 7.

L'utilisation de l'urée a démarré en 1978 mais reste toujours faible, selon les statistiques. Il existe, cependant, des importations incontrôlables en provenance du Nigéria.

Le phosphate naturel broyé à une finesse de 90 microns a été introduit en 1978 comme fumure de fond (400 kg/ha) pour toutes les cultures et comme fumure d'entretien à raison de 200 kg/ha pour le sorgho et le mil, 300 kg/ha pour le maïs et 250 kg/ha pour l'arachide à appliquer conjointement avec 50 kg/ha d'urée sauf pour l'arachide. Dès son introduction, la consommation qui variait entre 200 et 700 t par an est restée faible et les débouchés ne se trouvent

Tableau 6. Evolution de la consommation d'engrais en Haute-Volta  
(en tonnes)

Engrais	Cultures	1970	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
Urée	Céréales									
	Canne à sucre		500	110	163	947	1 500	770	425	2 500
Sulfate d'ammoniac	Cultures maraichères									
	Céréales					50	420	3 100	2 302	234
Superphosphate simple	Arachide	277		21	18		167	621	799	147
Superphosphate triple			300							
Chlorure de potassium	Cultures maraichères	325		21	-		89	231	523	26
Sulfate de potassium				43	12			84	31	
Autres		213	330							
Ternaires/Binaires										
18-35-0-65-180	Coton, canne à sucre,	2 210	5 933	7 021	8 418					
12-23-15-65-180	Cultures vivrières					13 178	17 575	18 870	14 000	20 000
16-48-0			315	58	4			31		
<b>Total</b>		<b>2 700</b>	<b>7 480</b>	<b>7 274</b>	<b>8 615</b>	<b>14 175</b>	<b>19 751</b>	<b>23 700</b>	<b>15 977</b>	<b>22 900</b>
dont composés		2 210	5 933	7 099	8 422	13 178	17 575	18 900	14 000	20 600
Phosphate naturel						50	900	180	770	615

Sources : CFDT, FAO, Projet phosphate, Douane.

que dans la culture de l'arachide et des céréales. La vulgarisation du phosphate naturel se heurte comme au Mali et au Niger à la réticence que mettent les cultivateurs à utiliser un produit qui ne donne pas des effets immédiats et significatifs comparables à ceux des engrais chimiques et qui se laisse difficilement épandre surtout quand il s'agit d'une quantité relativement élevée. D'ailleurs les prix de cession fixés actuellement sont plus favorables aux engrais chimiques qu'au phosphate naturel.

L'emploi de l'engrais pour les cultures s'est diversifié depuis 1975. D'abord limité aux cultures de coton, d'arachide et de riz irrigué, l'emploi s'en est rapidement étendu aux céréales pluviales comme le maïs en particulier. En 1990, environ 42 % de fumure de coton étaient utilisés pour les céréales contre 35 % pour le coton et 19 % pour la canne à sucre.

La totalité de la consommation, en 1980, s'élevait à 10 700 t de NPK, dont 3 237 t d'azote, 4 452 t de phosphate et 3 000 t de potasse. La teneur moyenne en éléments nutritifs des engrais commercialisés en Haute-Volta était donc de 45 % en 1980.

En ce qui concerne la consommation totale de l'azote, 27,5 % ont été utilisés pour le coton, 52,5 % pour les cultures vivrières et 20 % pour la canne à sucre. La répartition du phosphate selon ces cultures était respectivement de 38 %, 44 % et 18 %. Bien que la consommation ait rapidement progressé ces 10 dernières années, le niveau d'utilisation n'était plus que de 10 kg/ha cultivé et seules 5 % des surfaces cultivées sont engraisées. Tandis que la surface cotonnière soumise à la fumure est passée de 16 000 ha en 1971 (21,5 % du total) à 55 000 ha (80 % du total) en 1980, les surfaces céréalières engraisées ne représentent que 2 % du total (40 000 ha).

Selon l'emploi régional des engrais, la zone ouest et centre-ouest du pays caractérisée par une courbe de pluviométrie supérieure à 800 mm par an consomme d'ores et déjà plus de 80 % du total. Par contre, l'utilisation des engrais dans la partie du Liptako-Gourma constituée par le centre, le centre-est, le centre-nord, l'est, le Yatenga et le Sahel n'atteint que 18-20 % du total bien que ces régions représentent environ 50 % des surfaces de récoltes annuelles. La courbe pluviométrique dans cette région, à l'exception du centre, du centre-est et de l'est, est inférieure à 700 mm par an.



Selon les prévisions officielles, la consommation d'engrais atteindra un niveau de 48 à 50 000 t vers 1985. Cependant, si on fait des calculs sur la base des cultures et leurs besoins futurs, il semble qu'on n'arrivera pas à un tel niveau de consommation avant 1990. L'accroissement de la consommation d'engrais pour le coton sera fonction de l'expansion des surfaces cultivées, de l'encadrement et de l'intensification d'engraissage. Il est prévu que la surface cotonnière encadrée atteindra 100 000 ha vers 1990 et que ses besoins d'engrais s'élèveront à 15 000 t d'engrais composés et 5 000 t d'urée.

Si, par hectare semé de coton, au moins un hectare de céréales est fumé, les surfaces céréalières engraisées couvriront 100 000 ha vers 1990. Fumé à raison de 100 kg de composés plus 50 kg d'urée par ha, les besoins globaux s'élèveront à 10 000 t d'engrais composés et 5 000 t d'urée.

Les besoins d'engrais pour la canne à sucre seront doublés vers 1990 grâce à l'expansion des surfaces, ce qui résultera en une consommation de 7 000 t d'engrais composés et de 3 500 t d'urée.

Les besoins d'engrais pour les trois principales cultures augmenteront sans doute jusqu'à atteindre 32 000 t d'engrais composés et 13 500 t d'urée soit 45 500 t au total. Si l'emploi d'engrais pour l'arachide se répand sur 15 % de la surface cultivée en arachide, la consommation supplémentaire d'engrais (superphosphate triple ou simple) sera de l'ordre de 2 000 t.

Les besoins prévus pour 1990 sont les suivants :

<u>Eléments nutritifs</u>	<u>1980</u> <u>1990</u>		<u>Taux de croissance annuelle de la consommation d'engrais</u> (en %)
	(en tonnes)		
Azote	3 237	8-10 000	11-13
Phosphate	4 452	7- 7 700	6- 7
Potasse	3 000	4- 5 000	5- 6

L'augmentation récente de l'emploi de l'urée pour les céréales et le sous-emploi de l'azote par rapport au phosphate, justifie un taux moyen de croissance de la consommation d'engrais de l'ordre de 11 à 13 % par an pour la période 1980-1990.

Tableau 7. Répartition de la consommation d'engrais par type d'engrais et de cultures en Haute-Volta (1970-1981)  
(en tonnes)

		1970	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1981
Formule coton	Coton	1 824	2 550	3 610	3 273	4 984	7 235	7 371	7 539	19 040
	Céréales riz	54	1 361	1 793	3 432	5 544	7 240	8 000	8 438	
	Canne à sucre		2 022	851						
	Autres	842		(767)						
	Total	2 210	5 933	7 021	6 705	13 178	17 575	18 870		
Urée	Coton							2 480		
	Céréales					947		267	425	
	Canne à sucre						1 500	500		
	Total									

D. Conclusions

Si le rythme de croissance enregistré pendant les dernières années se maintenait grâce à une politique agricole soutenue de subventions, la consommation d'engrais dans les trois pays pourrait atteindre un total de 24 000 à 27 000 t d'azote, 20 000 à 22 000 t de phosphate et 9 000 à 10 000 t de potasse vers 1990 (voir tableau 8)

Tableau 8. Consommation d'engrais prévue pour 1990

Pays	N		P O	
	1980	1990	1980	1990
Haute-Volta	3 237	8 à 10 000	4 425	7 à 8 000
Niger	1 150	3 600	750	2 000
Mali	<u>8 080</u>	<u>13 à 14 000</u>	<u>7 390</u>	<u>11 à 12 000</u>
Total	12 367	24 à 27 000	12 565	20 à 22 000

La plupart des engrais phosphatés utilisés seront constitués par des produits solubles dont l'efficacité et la qualité physique sont meilleures que celles du phosphate naturel (à moins que ce dernier ne soit pas soumis à un traitement pour améliorer sa réactivité et sa qualité physique).

## II. UTILISATION DES PHOSPHATES NATURELS

### A. Utilisation des phosphates naturels pour la fabrication des engrais

Les phosphates naturels constituent la matière première pour la fabrication de l'acide phosphorique et des engrais phosphatés simples (super simple, supertriple) et binaires (nitro-phosphate, phosphate d'ammoniac) et plus de 85 % du produit de l'extraction minière mondiale des phosphates naturels sont utilisés dans ce but.

La transformation des phosphates naturels en engrais s'effectue par l'attaque à l'acide sulfurique ou à l'acide nitrique. La technique la plus utilisée est la première. Les autres techniques de transformation des phosphates bruts en acide phosphorique consistent soit à les attaquer à l'acide chlorhydrique soit à réduire le minerai en phosphates élémentaires au moyen du four électrique suivi d'une oxydation et d'une dissolution en eau. Ces dernières techniques ne sont pas très courantes en raison de l'investissement nécessaire qui est en moyenne deux fois plus élevé et des coûts d'opération (consommation de solvants pour le procédé à l'acide chlorhydrique et d'électricité pour le four électrique : 6 700 kWh/t de  $P_2O_5$  converti).

Pour convenir aux techniques courantes, la matière première doit être de nature apatitique (sédimentaire ou ignée et d'une concentration élevée, à savoir BPL : 73-78 soit 33-37 %  $P_2O_5$ , alors que le rapport  $CaO/P_2O_5$  doit être de préférence entre 1,35 et 1,5. Les phosphates naturels d'alumine ne conviennent pas au procédé à l'acide sulfurique mais peuvent être utilisés pour le procédé à l'acide nitrique. Ensuite, la qualité de la matière première est déterminée par la teneur en éléments accessoires non apatitiques. Pour le procédé à l'acide sulfurique, les spécifications à suivre sont : teneur en alumine et fer : moins de 3,5 %; en magnésie : moins de 0,8 %; en  $SiO_2$  moins de 8 %; en Cl moins de 0,05 %; en  $CO_2$  moins de 0,7 %; alors que la dureté doit être préférablement inférieure à 10.

Les spécifications pour le procédé à l'acide nitrique sont moins sévères en ce qui concerne les teneurs en alumine, fer et silice. Pour la réduction au four électrique les impuretés dues à l'alumine et à la silice dans la matière première ne gênent pas le procédé. Les tout-venants de la plupart des phosphates bruts doivent d'abord être soumis à un traitement d'enrichissement et d'épuration pour les rendre appropriés aux procédés de transformation.

Un autre avantage de la réduction au four électrique est la possibilité d'utiliser des phosphates naturels de moindre qualité et parfois même directement des tout-venants broyés sans enrichissement ou épuration préalable pour arriver à un acide phosphorique de concentration élevée (70-80 %  $P_2O_5$  contre 45 à 50 % pour le procédé à l'acide sulfurique). Le broyage et l'enrichissement du tout-venant s'effectuent, en général, près de la carrière et avant de l'exporter afin de faire des économies de transport et d'augmenter sa valeur commerciale.

#### B. Emploi des phosphates naturels comme fumure de fond et d'entretien

Moins de 5 % du produit de l'extraction mondiale de phosphate sont répandus directement sur le sol sans traitement chimique préalable. Il s'agit des phosphates d'alumine et de quelques phosphates bruts apatitiques d'une réactivité élevée.

Les phosphates d'alumine, les plus connus sont ceux de Thiès, au Sénégal (phosphal) et ceux des Iles Christmas. Après l'extraction, ces phosphates sont soumis à la calcination pour améliorer leur teneur en  $P_2O_5$  et élever leur réactivité.

Ce type de phosphate calciné contient 29-33 %  $P_2O_5$  dont 75 % sont solubles dans le citrate d'ammoniac et, après broyage, est utilisé comme fumure de fond et d'entretien sur des sols neutres ou calcaires. Il n'est pas recommandé pour des sols acides ( $pH < 5,5$ ) à cause de la diminution de sa solubilité et par conséquent de son efficacité.

Quelques phosphates bruts de nature apatitique sont caractérisés par une réactivité élevée du minerai phosphaté tels que les phosphates de Caroline du Nord (Etats-Unis), de Séchura (Pérou) et de Tunisie (Réno-phosphate). Ces phosphates sont utilisés comme fumure de fond pour des cultures pérennantes, pratiquées sur des sols acides et dans des régions caractérisées par une pluviosité abondante et une température élevée comme le thé, le café, le palmier à huile, le caoutchouc, le bananier, etc., dans les régions tropicales.

De nature calcaire, la réactivité intrinsèque (solubilité de  $P_2O_5$ ) de ces phosphates s'immobilise rapidement dans les sols neutres ou calcaires surtout dans les régions sèches ou semi-sèches (courbe de pluviométrie

( < 800 mm). Par ailleurs, leur efficacité devient de plus en plus incertaine et imprévisible au fur et à mesure que d'autres facteurs inconnus et incontrôlables comme la variabilité de la qualité (surtout solubilité et finesse de broyage), la répartition des pluies, les activités microbiologiques, le pH et autres caractéristiques du sol, etc, jouent un rôle, comme les résultats des essais agronomiques effectués sur des cultures diverses au Sahel soudannais et guinéen l'ont montré nettement. Pour ces types de sols et de climats, il faut employer des engrais solubles comme les engrais d'entretien, surtout pour des cultures annuelles, afin de s'assurer des effets immédiats et mesurables en rapport avec les autres éléments nutritifs appliqués.

La réactivité de l'apatite s'accroît en fonction de sa teneur en  $\text{CO}_3$  (substitution de  $\text{P}_2\text{O}_5$  par carbonate) et en OH (substitution de fluorine par des groupes hydroxyles dans le cristal). Plus élevée sera la teneur en  $\text{CO}_3$  et en OH, plus grande sera la disponibilité (solubilité) de  $\text{P}_2\text{O}_5$  dans l'apatite. La réactivité est mesurée par la solubilité de  $\text{P}_2\text{O}_5$  en acide formique ou citrique. Mais cette méthode ne peut fournir que des indications générales quant à l'efficacité du phosphate sur le terrain.

Pour comparer leur valeur agronomique relative, les caractéristiques principales de quelques phosphates locaux et autres ont été réunies dans le tableau 9.

Les chiffres du tableau 9 montrent d'abord la relation étroite entre la réactivité des différents phosphates et leur teneur en  $\text{CO}_2$  et F.

Le phosphate de Réno et celui de Caroline du Nord dont l'efficacité comme fumure de fond n'est plus à démontrer se classent nettement en tête. De toute façon, leur réactivité en acide citrique est inférieure à la moitié de celle des engrais phosphatés (superphosphate simple et triple) - ce qui indique que leur efficacité comme fumure d'entretien sur des sols neutres ou calcaires sera moins de la moitié de celle d'un engrais soluble à part entière. La réactivité des phosphates de Tilemsi et de Tahoua est le tiers de celle des engrais phosphatés solubles, et leur utilité comme fumure de fond et d'entretien sera donc restreinte aux conditions les plus favorables quant à l'acidité du sol (pH < 5,5) et à la pluviosité (au-dessus de 1 000 mm et bien répartie). Quant aux autres phosphates locaux, leur réactivité est assez basse, de sorte que leur efficacité et les résultats obtenus même s'ils sont

Tableau 9. Caractéristiques des divers phosphates  
(en pourcentage)

Gisement de phosphate	Solubilité								
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (en moyenne)	Acide citrique	Acide formique	H <sub>2</sub> O	CaO	CaO/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>	F	Perte au feu
Kodjari (Haute-Volta)	25,4	18,8	37,18	0,032	34,72	1,37	1,0	3,2	4,3
Tahoua (Niger)	28-33	29-38	34-?	0,30	45-49	1,4-1,5	2,6-3,5	0,04	
Parc du W (Niger)	23,0	inconnu			34,6	1,5	1,1	2,1	
Tilemsi (Mali)	28,6	29,76	47,35	0,007	44,2	1,54	2,3	2,6	8,09
Réno (Tunisie)	30,2	44,05	78,69	0,006	44,1	1,45	5,1	2,6	10,32
Togo	35,5	19,12	36,76	0,057	43,9	1,24	1,0	3,2	3,9
Caroline du Nord (Etats-Unis)	30,2	53,2	-	-	48,5	1,6	5,5		11,2
Superphosphate triple		45-46	95-98	-	85-90	17-20	-	-	2,0-2,5
Superphosphate simple	18-20	90-95	-	80	25-30	-	-	1,1-1,4	-

1  
13  
01  
1

finement broyés (90 microns) seront toujours faibles; ils ne se prêteront donc guère à l'emploi direct comme fumure de fond, et encore moins comme fumure d'entretien.

Les résultats des démonstrations effectuées pendant les trois dernières années sur des cultures diverses dans les champs en Haute-Volta et au Mali ont montré que par unité de  $P_2O_5$  sous forme entièrement soluble, l'augmentation des récoltes est de trois à sept fois supérieure à celle obtenue par unité de  $P_2O_5$  sous forme de phosphate de Kodjari et de Tilemsi selon le type de phosphate utilisé, la pluviosité (et sa répartition), l'acidité et la quantité de phosphate dans le sol. En outre, les résultats obtenus sont très variables d'année en année. Même dans les conditions les plus favorables à l'emploi direct du phosphate brut, c'est-à-dire avec une courbe de pluviométrie inférieure à 1 000 mm et une acidité des sols de pH = 5 à 5,5, les engrais phosphatés solubles ont prouvé qu'ils sont deux à quatre fois plus efficaces que le phosphate de Kodjari et de Tilemsi. Dans ce contexte, il faut remarquer aussi que, dans les régions où la courbe de pluviométrie tombe pendant la saison des pluies au-dessous de 150 mm par mois, les effets du phosphate brut deviendront rapidement marginaux alors que les engrais solubles donneront toujours un résultat favorable tant du point de vue de l'augmentation de la récolte que du point de vue de la rentabilité. Au-dessus d'un pH de 6,5, l'efficacité des phosphates bruts de Tilemsi et de Kodjari est très faible.

Même sur le plan économique, le phosphate brut n'offre actuellement aucun avantage réel par rapport aux engrais phosphatés solubles. Le prix de cession par kg de phosphate brut au Mali et en Haute-Volta est de 25 FCFA, au Niger de 58 FCFA, alors que celui des engrais est de 45 FCFA, ce qui aboutira à un rendement moyen de 1,5 à 3,0 pour le phosphate brut contre 3 à 7 pour les engrais. Même en tenant compte des résultats futurs qui peuvent être obtenus, peu de cultivateurs sont prêts à vouloir faire des investissements de ce genre. Il n'est donc pas question de faire un choix entre le phosphate brut et les engrais. Chacun a son propre domaine : fumure de fond ou fumure d'entretien.

Pourtant, les essais réalisés par le "projet phosphate" de Haute-Volta en collaboration avec l'IFDC (Etats-Unis) et la République fédérale d'Allemagne avec des phosphates de Kodjari partiellement acidulés ont montré qu'à un taux d'acidulation de 40 % l'efficacité du phosphate traité est presque la même que celle de l'engrais supertriple.



En résumé, on peut dire que la vulgarisation des phosphates bruts dans les pays du Sahel restera difficile et décevante à moins que leur réactivité ne soit améliorée par des traitements d'acidulation partielle. Le taux d'acidulation définitif doit être déterminé par des facteurs économiques (coût de l'acide sulfurique) et agronomiques (efficacité), et sera différent pour des phosphates bruts différents et en rapport avec leur réactivité intrinsèque. Il reste aussi à déterminer dans quelle mesure la qualité physique du produit acidulé sera améliorée par rapport au phosphate finement moulu non traité qui se laisse difficilement épandre, afin de décider si une granulation supplémentaire est nécessaire.

### III. EVALUATION DES RESSOURCES LOCALES DISPONIBLES POUR LA FABRICATION DES ENGRAIS

On n'a pas découvert les hydrocarbures liquides et gazeux nécessaires à la fabrication de l'ammoniac et des engrais azotés dans la région du Liptako-Gourma, au Mali, au Niger, et en Haute-Volta. Cependant, il serait possible d'utiliser éventuellement la puissance hydraulique du fleuve Niger pour la fabrication de l'ammoniac à partir de l'hydrogène électrolytique. Les matières premières locales qui pourraient être employées pour la fabrication d'acide phosphorique et des engrais phosphatés sont les gîtes de phosphate naturel qui se situent dans la région du Liptako-Gourma et ensuite le gypse, le sulfure ou la pyrite. Aucun indice de soufre n'existe au Mali, au Niger et en Haute-Volta.

Les études géologiques et de valorisation qui ont été effectuées jusqu'à présent ont mis en évidence que les réserves en minerai phosphaté sont très vastes et ont permis l'évaluation de leur valeur industrielle probable (voir tableau 10).

#### A. En Haute-Volta

##### 1. Phosphates naturels

La présence de phosphates naturels dans la partie sud-est du pays (Arly, Kodjari, Aloub-Djouana) a été signalée pour la première fois en 1972. Cette découverte a donné lieu à d'importants travaux de recherches géologiques et minières qui ont été entrepris de 1973 à 1979 par le Bureau voltaïque de la géologie et des mines en collaboration avec les Charbonnages de France (ETR et CDF-chimie).

Ces travaux ont permis l'estimation de réserves totales prouvées de l'ordre de 180 à 200 millions de tonnes de minerai pour une teneur en coupe supérieure à 20 %  $P_2O_5$ . La majeure partie des études réalisées pour la mise en valeur a porté sur le gisement de Kodjari, dont les réserves ont été estimées à 65 millions de tonnes de tout-venant pour une teneur en coupe moyenne de 26,2 %  $P_2O_5$  et une puissance moyenne de l'assise phosphatée de 5,9 m.

Tableau 10. Données principales relatives aux gisements de phosphates

Pays	Location	Réserves mesurées ou estimées (en millions de t)	Quantités exploitables à ciel ouvert (en millions de t)	Composition chimique (en %)							Dureté (Echelle de Mohs)	
				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F	MgO		
Mali	Vallée de Tilemsi	(200)										
	Tamaguelelt	11	2	27,9	43,1	14,3	3,01	6,3	2,6	0,28	6	
Niger	Tahoua	7		24,0	36,0	5,9	5,5	6,1	0,04	0,15	6	
	Parc du W	1 255	200	23,0	34,5	26,2	3,4	1,5	2,1	0,82	10	
Haute-Volta	Kodjari	65	24	26,2	37,0	19,9	4,3	2,9	2,3	0,18	10	
	Arly	(5)										
	Aloub-Djouana	(100)										

Ce sont, en particulier, les parties affleurantes et sub-affleurantes (24 millions de t) qui présentent le plus d'intérêt du point de vue de l'exploitation à ciel ouvert.

Les études pétrographiques et minéralogiques ont mis en évidence que la série de Kodjari comprend trois horizons phosphatés superposés d'épaisseur variable et de minéralogie hétérogène résultant d'une diagénèse et d'altération différentielle dont une partie est affleurée à cause des évènements tectoniques postérieurs.

Il s'agit :

- i) D'un horizon supérieur, le plus riche en  $P_2O_5$  et minéral oxydé (fer), contenant phosphate non apatitique (alumine), décarbonaté, totalement ou partiellement ( $CaO/P_2O_5$  : 1,25);
- ii) D'un horizon intermédiaire à teneur moyenne de  $P_2O_5$ , très riche en silice, apatite peu ou pas substitué par  $CO_3$  ( $CaO/P_2O_5$  : 1,36);
- iii) D'un horizon inférieur à faible teneur de  $P_2O_5$ , apatite partiellement substituée par  $CO_3$  et à exogangue siliceuse contenant des carbonates libres ( $CaO/P_2O_5$  : 1,6) et magnésium en quantité non négligeable.

Les caractéristiques chimiques moyennes des trois horizons sont indiquées ci-dessous :

	$\frac{P_2O_5}{25}$	CaO	MgO	$\frac{Al_2O_3}{23}$	$\frac{Fe_2O_3}{23}$	$\frac{SiO_2}{2}$	F	$\frac{CO_2}{2}$	Cl	$\frac{CaO}{P_2O_5}$
i)	29,3	36,75	0,23	5,33	2,86	17,6	2,55	1,32		1,25
ii)	25,4	34,72	0,54	4,86	2,00	25,2	2,10	1,54		1,36
iii)	26,2	41,70	0,88	3,33	1,56	16,45	2,35	5,47		1,60

Le dernier horizon correspond à la catégorie du minéral le plus abondant à Kodjari.

Les recherches minéralogiques ont montré que le minéral phosphaté se compose principalement d'apatite avec de faibles quantités de phosphate d'alumine (wavelite) dans l'horizon supérieur et intermédiaire. L'apatite de Kodjari est proche d'une francolite, peu carbonatée sauf dans l'horizon

inférieur. Tout porte à croire que l'apatite de cette zone est d'une nature plus réactive que celle des horizons supérieurs. L'apatite est également presque toujours associée à la silice, probablement sous forme de calcédoine ou d'opale substituant le calcium.

Le minerai appelé grès phosphaté est très fin et dur comme l'analyse granulométrique le montre (voir tableau 11).

Les granules de phosphate sont toujours de faible taille et les teneurs en  $P_2O_5$  des différentes fractions sont assez voisines de la maille de libération des granules et se situent entre 60 et 150 microns; pour la fraction la plus fine, entre 60 et 80 microns avec une teneur  $P_2O_5$  de l'ordre de 36%.

Les essais d'enrichissement à l'échelle de laboratoire ont montré que le minerai de Kodjari, du fait de sa maille de libération pratiquement très basse et de la présence d'une exogangue et d'une épigangue siliceuse est assez difficile à enrichir par les procédés classiques de la minéralurgie.

Les préparations mécaniques primaires et secondaires de tout-venant et la flottation des fractions préconcentrées permettent d'enrichir davantage le minerai et d'aboutir, à partir d'un tout-venant pris à la teneur de coupe de 18 à 26 %  $P_2O_5$ , à un concentré titrant 30-32 %  $P_2O_5$  avec un poids de rendement de 50 %. Des proportions importantes de minéraux porteurs de fer et d'alumine ainsi que de silice sont retenues dans les fractions les plus fines (schlamms). En revanche, ces fractions ont toujours des teneurs non négligeables de  $P_2O_5$ .

Les études de valorisations ont indiqué également que les tout-venant de Kodjari sont susceptibles de fournir de l'acide phosphorique par attaque d'acide sulfurique, mais la qualité est médiocre (en le concentrant, l'acide se transforme en substance colloïdale). Le traitement physique semble améliorer légèrement la qualité de l'acide produit. Des essais avec un produit préconcentré et sortant de flottation sont en train d'être entrepris avec l'industrie du phosphate en Tunisie.

Au stade actuel des connaissances, on peut conclure que :

- Le gisement de Kodjari ne présente pas de difficultés techniques du point de vue de l'extraction du minerai. Le volume des réserves est largement suffisant pour permettre une exploitation à l'échelle industrielle;

- La concentration des fractions de tout-venant par les types classiques de flottation aboutira à un concentré titrant 32 %  $P_2O_5$  soit BPL 71,1 avec un poids de rendement de 50 % après optimisation (pertes  $P_2O_5$  : 36 %) dont la teneur résiduelle en impuretés nuisibles (Al, Fe, Si, Mg) est acceptable.

Tableau 11. Analyse granulométrique du grès phosphaté de Kodjari

Fractions granulométriques (en microns)	Poids (en %)	Poids cumulés (en %)	$P_2O_5$ (en %)	Récupération $P_2O_5$ (en %)
+ de 2000	21,47	21,47	26,85	22,09
1 000-2 000	14,08	35,55	26,89	14,50
1 250-1 600	11,12	46,67	26,90	11,50
1 000-1 250	2,73	49,40	26,85	2,81
800-1000	7,57	56,97	26,90	7,80
630-800	5,15	62,12	26,85	5,30
500-630	4,69	66,81	26,85	4,83
400-500	3,52	70,33	26,85	3,62
315-400	3,03	73,36	26,90	3,12
250-315	2,35	75,71	26,60	2,38
200-250	1,54	77,25	26,45	1,56
160-200	1,87	79,12	26,05	1,86
125-160	1,78	80,90	26,90	1,83
100-125	1,75	82,65	27,90	1,87
80-100	2,84	85,49	29,40	3,20
63-80	1,22	86,71	29,50	1,38
50-63	1,97	88,68	29,35	2,21
40-50	1,42	90,10	28,60	1,55
31-5-40	1,32	91,42	26,85	1,35
20-31.5	1,34	92,76	24,70	1,26
- de 20	7,34	100,00	14,35	3,98
Alimentation			26,09	

Le broyage sélectif et proche de la maille de libération (160 microns) couplé à une attrition et un déschlagage à 31,5 microns fournira un préconcentré titrant 30 à 32 %  $P_2O_5$  avec des récupérations sur la base de tout-venant supérieures à 65 %.

La floculation et l'agglomération sélectives des schlamms ont montré qu'il était possible de récupérer une partie non négligeable de la fraction phosphatée entraînée dans les schlamms, et d'aboutir à un produit aux caractéristiques voisines de concentré de flottation. Toutefois, l'utilisation de ces procédés ne reste qu'à l'échelle de laboratoire.

- Ce préconcentré et le concentré de flottation soumis à l'attaque sulfurique produisent un acide phosphorique dilué d'une qualité médiocre qui ne se laisse pas facilement concentrer à cause de la nature colloïdale de l'acidulat, ce qui affecte sérieusement leur valeur industrielle.
- Il reste à étudier le comportement des concentrés à l'attaque nitrique et à évaluer leur valeur pour la fabrication d'engrais binaires ou ternaires (nitro-phosphates). Les phosphates naturels, riches en silice, ne causent pas de grands problèmes à la technique d'acidulation nitrique, comme l'attaque sulfurique si l'équipement de fabrication est prévu à cette fin. La présence d'oxyde de fer et d'alumine dans les concentrés ne pose pas non plus de sérieux problèmes à la fabrication. D'ailleurs, la faible teneur en carbonate libre dans le minerai préconcentré est favorable à la fabrication du produit. Il est donc avantageux d'entreprendre des essais dans le but d'adapter au niveau industriel les minerais bruts et enrichis de Kodjari à la production d'engrais du type des nitro-phosphates.
- Les coûts de transport du minerai du site de la carrière jusqu'à la côte (à Abidjan) sont estimés entre 70 et 75 dollars/t en raison de l'absence de liaison ferroviaire. Ils sont plus élevés que les coûts actuels du marché international, qui vont de 55 à 57 dollars/t f.o.b. Afrique occidentale (BPL 70-73). En ajoutant les coûts d'enrichissement du préconcentré, estimés à 10 et 25 dollars selon les traitements choisis (mécanique ou flottation), la différence entre le prix de revient et le prix mondial va de 25 à 45 dollars/t.

En résumé, les perspectives d'une exploitation rentable des phosphates de Kodjari à l'échelle industrielle pour les exporter sous forme de matière première ou d'engrais ne semble pas favorable à moyen terme.

Les efforts pour la mise en valeur de ces phosphates doivent se concentrer sur le marché national ou régional dans le but de remplacer les engrais phosphatés importés.

## 2. Gypse et sulfure

On n'a pas trouvé de dépôts de gypse et, jusqu'à présent, on n'a trouvé que peu de pyrite en Haute-Volta. Mais, par ailleurs, un gisement massif de sulfures (fer, zinc, plomb, cadmium, cuivre et autres) a été localisé à Perkoa, à 12 km à vol d'oiseau au nord de Réo, à environ 140 km à l'ouest de Ouagadougou, près de la voie ferrée vers Abidjan.

Les recherches conduites par le BVGM en collaboration avec le PNUD ont permis de découvrir des réserves de l'ordre de 2,5 millions de t d'une teneur moyenne en soufre de 20 % soit 500 000 t de soufre à une profondeur allant jusqu'à 200 mètres.

Le gîte, d'une épaisseur de deux à trois mètres forme partie d'une bande sulfurisée de 20 m d'épaisseur. Il affleure, ce qui permettra l'exploitation à ciel ouvert à une échelle modeste et semi-industrielle.

Pourtant, pour dépasser le seuil de la rentabilité des investissements nécessaires à la transformation du minerai en soufre et métaux valables par grillage, il faudra une extraction de plus de 250 000 t par an - ce qui épuisera le dépôt en 10 ans. En tout cas, au stade actuel des recherches, il faudra de trois à cinq ans pour la mise en oeuvre de l'exploitation du gisement.

## B. Au Niger

### 1. Phosphates naturels

Au Niger il y a deux gisements de phosphates naturels de nature tout à fait différente : celui de Tahoua et celui du Parc du W.



a) Gisement de Tahoua

Le gisement de Tahoua est situé à plus de 600 km au nord-est de Niamey, à la limite méridionale du désert.

Il est connu depuis longtemps et a été l'objet de plusieurs prospections et études globales, dont l'étude réalisée en 1970-1974 par l'Office national de recherches et d'exploitation des ressources minières (ONAREM) en collaboration avec une firme canadienne.

La formation est très vaste et a une remarquable continuité jusqu'à la frontière malienne. Néanmoins, les estimations relatives aux réserves ainsi qu'une évaluation précise de leur valeur industrielle manquent toujours.

La formation paraît être le résultat d'une sédimentation marine (argile paléocène) suivie par un dépôt de caractère continental (latéritique) qui recouvre les bancs d'argile, dont l'épaisseur est très variable et va de 0,2 à 1,9 m. L'épaisseur des bancs d'argile varie entre 0,7 et 1 m selon les niveaux.

Les gîtes de phosphate sont localisés dans ces formations argileuses sous forme de nodules, phosphatés à vertèbres coprolithes, dont le pourcentage varie entre 1 et 2 %.

La teneur en  $P_2O_5$  de ces nodules est très variable - entre 15 et 33 % - (en moyenne 24 %  $P_2O_5$  soit 53 % BPL).

La plupart des nodules sont de couleur crème ou jaunâtre; ils sont durs, à grain fin, et compacts. Les plus petits ont la forme de boules plus ou moins sphériques, dont le diamètre est d'environ 10 mm. Les plus gros sont allongés, et se présentent sous forme de baguettes dont la longueur peut atteindre 75 cm. Mais la plupart ont une forme oblongue, leur longueur variant de 2 à 5 cm.

Les analyses chimiques montrent une teneur en fluor très basse et une carbonatation nettement élevée, ce qui indique la nature tricalcique (peu apatitique) et réactive du minerai phosphaté dont

la solubilité dans l'acide citrique approche 40 % de la teneur totale en  $P_2O_5$ . En plus du phosphate tricalcique, les nodules renferment des oolithes de goethite, de limonite, de quartz et de kaolin en proportions très variables.

Certains nodules sont blancs ou grisâtres et ont une texture crayeuse. Ils ont une teneur en phosphate plus élevée que les nodules de couleur jaunâtre, qui contiennent en outre une proportion plus élevée d'impuretés que les nodules blancs.

Les quelques analyses chimiques disponibles montrent pour les différents coprolithes la composition approximative suivante (tableau 12).

Tableau 12. Composition des divers échantillons

Eléments	Echantillons				
	1	2	3	4	5
$P_2O_5$	33,0	30,4	31,9	32,7	33,77
CaO	49,35	46,55	45,05	46,7	45,15
Humidité	0,9	1,0	0,7	0,6	
CO <sub>2</sub> et OH constitués	5,55	2,6	3,5	2,9	
SiO <sub>2</sub>	2,85	8,8	2,63	4,3	4,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,35	7,15	9,10	1,65	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,50	2,50	6,1	10,90	0,2
Fluor					0,04
Manganèse	?				0,004
MgO					0,14
CaO/ $P_2O_5$	1,495	1,53	1,41	1,43	1,34
Phosphate tricalcique en %	72,1	66,5	70,0	71,4	73,8
$P_2O_5$ soluble à l'eau en %					0,3
$P_2O_5$ soluble à l'acide citrique					
en %					38,7

La latéritisation a transformé les argiles plastiques et compactes en une masse poreuse grise à grains très fins et de dureté variable. Par conséquent, les nodules de phosphate sont parfois enrobés d'une couche de latérite ferrugineuse pourpre ou rouge

brunâtre, qui peut atteindre une épaisseur de plusieurs centimètres ce qui est reflété ci-dessus dans l'analyse chimique de quelques échantillons.

La série argileuse affleure généralement en pente modérée en bordure de plateau. Son exploitation à une échelle modeste, artisanale et manuelle, est effectuée depuis 1975 (voir annexe 1).

En l'absence de données exactes et complètes relatives aux réserves mesurées et exploitables à ciel ouvert, et étant donné leur qualité très variable, on ne peut dire grand'chose sur leur valeur industrielle pour le moment. Pourtant, le peu d'informations disponibles montrent la nature tricalcique et la réactivité élevée du minerai phosphaté. L'attaque par l'acide sulfurique ou nitrique à l'échelle industrielle ou semi-industrielle dans le but de le transformer en engrais phosphatés solubles à part entière ou partielle, ne posera pas de sérieux problèmes, à condition que les pourcentages élevés des impuretés d'alumine et de fer diminuent sans que cela coûte trop cher (enrichissement par voie mécanique).

b) Gisement du Parc du W

Le gisement de phosphate du Parc du W découvert en 1972 est situé au sud-ouest du pays près du fleuve Niger et de ses affluents, à environ 200 km de Niamey. Depuis la découverte, d'importants travaux d'exploration géologique et des études minéralogiques ont été entreprises par l'ONAREM en collaboration avec le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) de France, SNC (Surveyer, Nanniger and Chenevert) du Canada et l'Overseas Uranium Resources Development Corporation (OURD) du Japon.

Ces travaux et études ont mis en évidence l'importance des gisements. Les réserves estimées et mesurées s'élèvent à 1 milliard 255 millions de tonnes de minerai d'une teneur moyenne de 23 %  $P_2O_5$ , dont environ 200 millions de tonnes seront exploitables à ciel ouvert (de 7 à 13 m de profondeur).

La couche phosphatée qui est stratifiée et d'une épaisseur moyenne de 68 m est située à une profondeur allant jusqu'à 200 m.

Des altérations pédogénétiques ont conduit à la différenciation des horizons phosphatés qui se présentent comme suit :

- i) Horizon supérieur, minerai grossier à 15-19 %  $P_2O_5$ , avec une moyenne de 18 %  $P_2O_5$ , très riche en silice;
- ii) Horizon intermédiaire à 22-23 %  $P_2O_5$ , avec une moyenne de 22,4 %  $P_2O_5$ , toujours riche en silice :
- iii) Horizon inférieur, grès fin à 20-30 %  $P_2O_5$  avec une moyenne de 24 %  $P_2O_5$  disséminé dans le grès.

Les caractéristiques chimiques moyennes des trois horizons sont indiquées ci-dessous (tableau 13) :

Les analyses de tout-venant mettent en évidence une faible proportion de minéraux carbonatés ( $CaO/P_2O_5 = 1,4$  à  $1,5$ ). Compte tenu de la teneur en  $CO_2$  de l'apatite pure (2 % pour 39,7 %  $P_2O_5$ ), les teneurs en  $CO_2$  liées aux carbonates libres sont respectivement de 0,8, 2,4 et 2 % pour les horizons i, ii, et iii soit en équivalence :  $CaCO_3$  : 1,8, 5,5 et 4,6 %.

Les analyses indiquent également que l'apatite est peu carbonatée donc peu réactive et principalement d'une composition de type francolite (apatite de fluor et de carbonate).

La silice et la pyrite constituent l'essentiel de l'endogangue des éléments phosphatés. On constate qu'au niveau des grains phosphatés pouvaient se produire des variations de la cristallinité de l'apatite. La silice sous forme de quartz ou de calcédoine se développe en pseudomorphose partielle de certaines oolites remplaçants sans déformation et sans modification volumétriques du minerai apatite. Ainsi, dans certains horizons, on a observé des néogénèses de phosphate amorphe au niveau du ciment de matrice en association avec la silice.

La pyrite aussi est enveloppée et finement dispersée dans les grains d'apatite en inclusion. La teneur et surtout la nature de cette endogangue seront gênantes pour la production d'acide phosphorique.

Le principal minerai d'exogangue est le quartz, très finement cristallisé, fibreux, accompagné de quantités moindres de calcite, de minéraux argileux et de pyrite.

Tableau 13. Composition des trois horizons

	P O 2 5	CaO	MgO	Al O 2 5	F	SiO 2	F	CO <sub>2</sub>	Cl	S	CaO/P O 2 5	F	Perte au feu
i)	18	26,1	0,64	2,1	0,98	45,6	1,7	1,47	0,05	0,44	1,45		3,8
ii)	22,4	34,6	0,79	3,1	1,2	28,0	2,1	3,5	0,05	0,55	1,54		3,4
iii)	24,25	34,29	0,83	3,75	1,05	24,48	2,05	3,1	0,05	0,52	1,5		2,8

Les essais de broyage de tout-venant ont montré ensuite que le minerai est très dur (échelle de Mohs : 10) et compact. Pour obtenir la libération des grains les plus fins de phosphate, il faut les broyer à une finesse de 100 microns au moins.

Il semble donc que les gisements du Parc du W soient tous de même nature que les phosphates voltaïques de l'autre côté de la frontière.

Comme c'est le cas avec le minerai de Kodjari, les tout-venants du gisement du Parc du W sont trop pauvres en  $P_2O_5$  et trop riches en silice et ont besoin d'un enrichissement pour les rendre appropriés aux techniques courantes de production d'acide phosphorique (par l'attaque d'acide sulfurique) et d'engrais nitro-phosphatés (par l'attaque d'acide nitrique).

Les essais d'enrichissement classiques ont montré qu'une flottation amionique suivie d'une flottation cationique aboutiront à un concentré titrant un peu plus de 30 %  $P_2O_5$  avec une récupération d'anhydride sulfurique de moins de 51 %.

La granulation fine du minerai et la nécessité de le broyer à 80 et 100 microns ainsi que la présence de pyrite et de silice dans l'endogangue des éléments phosphatés qui perturbent la séparation des fractions impliquent des conditions de flottation différentes de celles mises en oeuvre sur un minerai phosphaté classique.

L'optimisation d'une flottation convenant au minerai du Parc de W a été mise au point récemment par ONTARIO Research, du Canada.

Composition chimique du concentré (en %)

<u><math>P_2O_5</math></u>	<u><math>SiO_2</math></u>	<u><math>Al_2O_3</math></u>	<u><math>Fe_2O_3</math></u>	<u><math>CaO</math></u>	<u>F</u>
34,03	6,2	1,08	1,25	49,3	2,92

Par flottation inversée des schlamms, en éliminant une grosse partie des éléments nuisibles comme la pyrite (Fe + S) et l'alumine, le procédé aboutit à un concentré dont la composition convient à des spécifications pour la fabrication de l'acide phosphorique au moyen de l'acide sulfurique ou de l'acide nitrique. Cependant, il reste à savoir comment le concentré du

minerai se comporte à l'échelle industrielle et dans quelle mesure la texture du minerai (endogangue siliceuse et pyriteuse restante) gênera la fabrication de l'acide phosphorique.

Pour une production dépassant les 300 000 t de concentré par an, le prix de revient (y compris 8 % d'intérêt sur investissements) a été calculé récemment à 45 ou 46 dollars/t sortie installation d'enrichissement.

Les frais de transport et de manutention du site du Parc du W à Cotonou port (route : 430 km, voie ferrée 440 km) sont estimés entre 57 et 63 dollars/t. Le prix de revient de la tonne du concentré rendu Cotonou se situera donc entre 100 et 110 dollars, alors que le prix f.o.b. Afrique occidentale d'un phosphate de même qualité BPL est de 53 à 57 dollars/t. Lorsque le transport du minerai concentré doit être effectué entièrement par route, par exemple à l'usine de superphosphate simple à Kaduna (Nigéria) dont la capacité est de 100 000 t par an), les frais s'élèveront à 80 dollars/t et le prix de revient rendu à 125 dollars/t contre 90 à 100 dollars pour la matière première en provenance du Togo ou Sénégal (par bateau et voie ferrée).

En résumé on peut conclure que :

- Le gisement du Parc du W ne posera probablement pas de problèmes techniques à l'extraction du minerai et la dimension des réserves est largement suffisante pour soutenir une exploitation à l'échelle industrielle à long terme;
- L'enrichissement du minerai brut par type de flottation inversée utilisant des réactifs perfectionnés, aboutira à un concentré dont la teneur en  $P_2O_5$  et le niveau des impuretés conviennent aux spécifications commerciales des phosphates bruts destinés à la fabrication de l'acide phosphorique et des engrais phosphatés.
- Le comportement du concentré à l'attaque de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique à une échelle industrielle reste à étudier;
- Les rendements économiques d'une exploitation et les perspectives de la commercialisation du concentré paraissent faibles pour le moment, étant donné les frais élevés d'enrichissement et de transport en l'absence de la possibilité d'une évacuation qui se ferait entièrement par voie ferrée.

## 2. Le gypse et les sulfures

En l'absence de gisements de soufre élémentaire, le gypse et les sulfures peuvent servir de minerai de base pour la fabrication d'acide sulfurique, ce qui est indispensable à la technique classique de transformation des phosphates bruts en acide phosphorique et en engrais phosphatés;

Par chauffage en présence de charbon (élément réductif), le soufre est libéré du gypse sous forme de gaz di-oxyde et, après épuration, converti en tri-oxyde de soufre. Le ciment est un sous-produit important obtenu avec ce procédé. Le tri-oxyde de soufre peut être utilisé directement sous forme de gaz ou indirectement après dissolution en eau comme agent de l'acidulation du phosphate.

Les investissements sont cinq à huit fois - et les besoins en énergie deux à trois fois - plus élevés qu'en ayant recours aux procédés classiques de fabrication d'acide sulfurique. Le tri-oxyde de soufre sous forme de gaz ou dissous dans l'eau peut être obtenu également par grillages des pyrites et d'autres sulfures.

Les investissements nécessaires pour enrichir le minerai à 40-45 % et le convertir en acide sulfurique sont au moins trois fois plus élevés que dans le cas du procédé classique à partir du soufre. Néanmoins, il convient d'étudier les données économiques de ces procédés en fonction des conditions qui prévalent au Niger où le soufre revient à plus de 300 dollars la tonne, dont 200 dollars de transport de Cotonou à Arlit inclus.

Il y a de vastes gisements de gypse qui affleurent au nord-ouest du Niger, à la frontière du Mali. Par suite de l'enclavement et de l'éloignement du centre d'exploitation d'uranium d'Arlit (600 km) et des gisements de phosphate du Parc du W et de Tahoua, leur intérêt économique est faible à cause des frais de transport élevés. Les travaux géologiques n'ont pas encore été effectués et on ignore l'importance des réserves, dont la qualité est néanmoins reconnue. Il y a des gisements de moindre importance au sud du pays, à la frontière avec le Nigéria, qui peuvent être exploités à une échelle semi-industrielle.

Des gisements de pyrite très étendus et en association avec du charbon ont été localisés sur la ligne sud-nord-ouest de Tahoua à 50 m de profondeur. Les réserves n'ont pas encore été estimées et on ignore leur qualité. Néanmoins, leur intérêt principal est l'exploitation de fer et de soufre.



A l'ouest de Niamey, près de la frontière avec la Haute-Volta, il existe des dépôts sulfuriques de fer en association avec des minerais de valeur. Les réserves sont inconnues mais limitées et ne peuvent être exploitées qu'à une échelle modeste.

Etant donné l'importance de l'exploitation du minerai d'uranium et ses besoins d'acide sulfurique estimés à 70 000-80 000 t/an d'équivalents-soufre, entièrement importé, le Niger a intérêt à se procurer l'acide sulfurique à partir des ressources locales, tant pour couvrir des besoins d'Arlit que pour la transformation des phosphates naturels de Tahoua ou du parc du W en engrais solubles, soit à une échelle modeste pour la consommation locale, soit à une échelle industrielle.

### 3. Les ressources hydrauliques

Des projets pour la construction de barrages le long du fleuve Niger ont été étudiés en détail en trois endroits différents : barrage de Kandadji (125-230 MW), du parc du W (84 MW) et le barrage de Mékrou (27 MW).

Le projet de Kandadji, à environ 200 km en amont de Niamey, sera réalisé en priorité, vraisemblablement vers 1990 (voir annexe I).

Le barrage de Kandadji élevé à la cote + 228 sera d'une puissance hydro-électrique installée de 125 MW et d'une production moyenne de 750 GWh par an. Si on élève la cote des plus hautes eaux à + 239, portant la puissance totale installée à 230 MW et la productivité annuelle à 1 500 GWh, la surélévation du barrage requerra l'accord du Mali parce qu'une partie de son territoire serait inondée.

La consommation d'électricité au Niger est actuellement d'environ 150 GWh par an, dont 105 GWh sont importés du Nigéria. Il est peu probable que la consommation industrielle et privée dépassera 250 GWh vers 1990 et 300 GWh vers l'an 2000. Il est donc prévu d'exporter l'excédent et de réaliser l'installation des turbines et des générateurs en deux étapes (3 x 25 MW, suivi par 2 x 25 MW)).

Le prix de revient est, selon les calculs actuels, estimé entre 2,5 et 8 FCFA/kWh, et correspond au taux d'utilisation des génératrices. Ces prix sont assez intéressants pour qu'il soit avantageux d'utiliser l'excédent

d'énergie pour la fabrication de l'ammoniac par voie électrolytique ou pour la production de l'acide phosphorique par réduction thermique au four électrique. L'ammoniac est le produit de base nécessaire à la fabrication de l'acide nitrique et à la production des engrais composés, appelés nitro-phosphates (20-20-0), obtenus à partir de phosphates bruts enrichis d'acide nitrique et d'ammoniac. L'acide phosphorique est la matière de base nécessaire à la fabrication des superphosphates triples (44-46 %  $P_2O_5$ ).

Les deux procédés consomment beaucoup d'électricité : l'ammoniac converti en nitro-phosphates a besoin de 11 000 kWh/t et l'acide phosphorique de 6 700 kWh/t de  $P_2O_5$  converti en acide phosphorique.

Dans l'hypothèse d'une mise en oeuvre du barrage de Kandadji vers 1990 et d'une production excédentaire de 400 GWh/an vers 2000, la production potentielle de l'ammoniac pourrait être de 40 000 t/an (converti en engrais binaires : 20-20-0 : 125 000 t) et celle de l'acide phosphorique de 60 000 t en équivalents  $P_2O_5$ .

Compte tenu de la faible puissance fournie par la centrale hydraulique en année décennale sèche et plus particulièrement durant la période sèche trimestrielle (étiage : mai-juillet), l'usine ne fonctionnera en pleine capacité que 280 jours par an et s'arrêtera durant la période de l'étiage, de façon à ce que la capacité soit 140 t/jour (6 t/h) pour l'ammoniac ou 213 t/jour (9 t/h) pour l'acide phosphorique.

Les investissements nécessaires à la réalisation de ces usines se montent actuellement à 90 millions de dollars pour l'usine d'ammoniac et à 40-50 millions de dollars pour l'usine d'acide phosphorique.

Puisque la conversion de l'électricité excédentaire en engrais ou matières de base pour la fabrication des engrais assurera le fonctionnement de la centrale à pleine capacité et permettra ainsi d'optimiser l'ensemble des investissements du barrage, le prix de vente de l'électricité nécessaire à la fabrication des engrais est estimé à 6 FCFA/kWh.

Sur la base d'une période d'amortissement de 10 ans, d'un taux d'intérêt de 10 % et d'un prix de vente d'un préconcentré phosphaté de 15 dollars/t, le prix de revient sortie usine pour l'ammoniac converti en engrais 20-20-0 est estimé à 216 dollars/t et celui de l'acide phosphorique à 340 dollars/t de  $P_2O_5$ .

Les prix c.a.f. livrés ou produits Abidjan/Cotonou/Lomé/Dakar des engrais composés sont de 300 à 310 dollars/t, soit de 90 dollars/t de plus en moyenne par rapport au prix de revient mentionné ci-dessus; ce qui laisserait aux engrais produits localement un avantage commercial de pénétration de 600 km (basé sur un tarif routier de 45 FCFA la tonne kilométrique, soit 0,15 dollar). Donc si la distance entre les points de départ est 1 000 km, les prix des engrais livrés s'égaliseront à une distance d'environ 800 km du site de l'usine.

Pour l'acide phosphorique, la différence entre le prix c.a.f. livré Afrique occidentale (actuellement de 440 à 450 dollars/t de  $P_2O_5$ ) et le prix de revient de la production locale est environ 100 dollars/t de  $P_2O_5$ . L'avantage de pénétration est environ égal à celui des engrais nitrophosphatés si on se base sur un tarif de transport de 60 FCFA/t de  $P_2O_5$ .

Bien que les paramètres de pénétration paraissent favorables, ils montrent très nettement l'impossibilité d'une commercialisation des produits sur le marché international, surtout parce qu'une telle fabrication doit toujours se faire près des gisements des phosphates et/ou de la centrale hydraulique. La ventilation des produits sera donc restreinte aux marchés locaux ou régionaux.

En résumé, il s'avère utile de procéder à des études de pré faisabilité afin de déterminer plus précisément l'économie que représente une fabrication d'engrais composés et d'acide phosphorique en utilisant l'électricité hydraulique excédentaire d'un barrage installé soit à Kandadji soit au Parc du W.

### C. Au Mali

#### 1. Phosphates naturels

Les gisements de phosphate sont situés au nord-est du pays dans la vallée de Tilemsi. Ils sont connus et explorés depuis longtemps et les réserves globales ont été estimées à 200 millions de tonnes. Il s'agit d'une formation sédimentaire dans un vaste bassin marin datant de l'éocène moyen. Sa surface sédimentaire est recouverte par des stériles (1 à 15 m) et érodée à un tel degré qu'il n'en reste que des îlots formant des montagnes tabulaires où la

succession des couches demeure complexe. Les couches de phosphate n'affleurent qu'au bord de ces îlots. Elles se sont montrées, en résistant aux érosions, plus fortes que les autres matières et sont identifiables sur le terrain par leur couleur et leur faciès caractéristiques. Elles s'étendent comme une ceinture de 100 à 400 m de large autour des îlots, permettant une exploitation à ciel ouvert simple.

Le gîte de Tamaguelelt situé à environ 170 km au nord de Gao est le mieux adapté à l'exploitation; il est le plus accessible et le plus proche du fleuve Niger. Les réserves de ce gîte ont été estimées à 11 millions de tonnes, dont 2 millions peuvent être exploitées à ciel ouvert. Selon les études réalisées par la Société nationale de recherches géologiques et exploitation de ressources minières (SONAREM) en collaboration avec la Société Kloeckner entre 1968 et 1973, la puissance moyenne du lit phosphaté de Tamaguelelt, recouvert par des stériles et reposant sur des schistes argileux feuilletés, varie entre 1 et 2 m et la teneur en  $P_2O_5$  entre 18 et 34 %.

Dans le profil du lit phosphaté se distinguent trois horizons, à savoir :

- a) Une couche supérieure graveleuse de gros éléments phosphatés (vertèbres, coprolithes) d'une granulométrie de 1 à 5 mm et riche en oxyde de ferral contenant environ 50 % du total du lit;
- b) Une couche intermédiaire, sableuse, de phosphate tendre d'une granulométrie de 0,2 à 1 mm (30 % du lit);
- c) Une couche inférieure d'argile phosphatée d'une granulométrie de moins de 0,2 mm.

Les teneurs en  $P_2O_5$  varient progressivement d'une moyenne de 20 % dans la couche inférieure à 28 % dans la couche supérieure et sont directement proportionnelles aux pourcentages des grosses particules phosphatées.

Le site est exploité de façon artisanale depuis 1975. L'exploitation se limite aux couches supérieures du lit dont les teneurs en  $P_2O_5$  varient de 26 à 28 %, alors que les teneurs en oxydes de fer et alumine (ferral) sont voisines de 10 % (8 à 14 %). Voir annexe II.

L'examen minéralogique a révélé la prédominance de la collophanite sur l'apatite microcristalline, cette dernière surtout dans les fractions les plus fines. Les teneurs en  $Al_2O_3$  et les pertes au feu indiquent également la possibilité de la présence de phosphates d'alumine dans les couches supérieures du lit phosphaté. Les particules phosphatées de toutes tailles sont irrégulièrement recouvertes d'une mince couche d'oxyde de fer et de manganèse. L'exogangue est essentiellement argileuse avec de la goethite, du quartz et des oxydes de fer et d'alumine.

La forte teneur en carbonate et le rapport  $CO_3/PO_4$  (0,21) élevé de l'apatite indiquent un taux élevé de substitution de  $PO_4$  par  $CO_3$  dans la structure cristalline du minerai phosphaté, ce qui indique une réactivité plus élevée que pour les phosphates apatitiques classiques (francolite, fluorapatite).

D'après Kloeckner (1968), la solubilité des minerais phosphatés finement broyés (62 microns) dans l'acide formique (2 %) varie entre 31 et 43 % de  $P_2O_5$ . Les essais de Truong (1977) sur les phosphates de la carrière SONAREM montrent une solubilité dans l'acide formique de 61 % et dans l'acide citrique de 38 %. Les analyses les plus récentes (1981) effectuées à Hannover (RFA) donnent une solubilité de 53 % du total en  $P_2O_5$  dans l'acide formique pour un broyage à 63 microns et 30 % pour un échantillon broyé à 300 microns. Probablement à cause de la présence de trois types de phosphate dans le minerai (collophanite, francolite et wavelite), ayant chacun une réactivité différente, les analyses de solubilité s'avèrent anormalement divergentes, indiquant la variabilité en qualité du minerai extrait et commercialisé. Les essais de broyage ont montré que le minerai se laissait facilement broyer (Echelle de Mohs : 6), mais qu'à cause de la nature microcristalline de l'apatite, il devait être broyé à une finesse de 60 à 100 microns afin de libérer les éléments phosphatés les plus fins du minerai.

Ensuite, les essais d'enrichissement du minerai ont mis en évidence que la séparation par simple tamisage de la fraction 0,2-5,0 mm d'un phosphate brut titrant 27,5 %, fournit un produit préconcentré qui titre près de 31,4 % en  $P_2O_5$  avec un poids de rendement de 85,6 %. Cette opération, c'est-à-dire le rejet des fractions supérieures à 5 mm et inférieures à 0,21 mm provoque également un sensible abaissement de la teneur en produits indésirables (féral et quartz). Voir tableau 14.

Tableau 14. Composition chimique du phosphate de Tilemsi

	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	BPL	CaO	Fe+Al	SiO <sub>2</sub>	Cl	F	CO <sub>2</sub>	CaO/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Perte au feu
Phosphate brut	27,9	60,1	43,1	9,3	14,3	0,168	2,60	2,3	1,54	8,09
Préconcentré (tamisage)	31,3	68,5	38,5	4,17	9,05				1,29	

Par contre, les essais de flottation ont été peu concluants, la sélectivité du procédé étant perturbée par la formation de boues.

Le tamisage est donc sans doute le meilleur procédé pour obtenir un produit enrichi. Néanmoins, le préconcentré est à la fois relativement pauvre en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et toujours riche en substances indésirables comme le féral et le quartz. Puisque le phosphate est en partie lié à l'alumine, la haute teneur de ces substances provoquera une viscosité indésirable pour la fabrication de l'acide phosphorique et entravera, par conséquent, l'évaporation nécessaire à la concentration de l'acide.

De ce fait, le phosphate malien sera inapte à la fabrication d'acide phosphorique par l'attaque de l'acide sulfurique. Il reste à étudier comment le préconcentré malien sera techniquement adapté à l'attaque de l'acide nitrique pour en faire des engrais phosphatés binaires (20-20-0).

D'autre part, le concentré malien sera apte à la fabrication de superphosphate simple ou d'un produit partiellement acidulé grâce à sa réactivité élevée. Jusqu'à présent, et malgré tous les travaux réalisés dans le passé, l'utilité industrielle du phosphate de Tilemsi pour une telle fabrication n'a pas encore été étudiée à fond et il s'avère utile de le faire sans délai.

Sans connaissance des paramètres principaux tels que la finesse du broyage, la consommation d'acide sulfurique par rapport à la réactivité intrinsèque du phosphate, le temps nécessaire à la réaction et au murissage du produit final, il ne sera pas possible de faire le choix des techniques les plus économiques et des installations les meilleures et les moins coûteuses pour la fabrication de ces produits, fabrication qui doit être simple et réalisée à une échelle modeste, selon les besoins du pays.

## 2. Gypse, pyrites et sels

Il n'existe aucun indice de soufre au Mali. Ce produit doit donc être importé ou récupéré à partir d'autres minerais tels que le gypse, les pyrites et les sulfures.

Deux gisements de gypse sont connus au Mali, celui de Taoudenit et celui de Tessalit.

On trouve le gypse de Taoudenit au nord de Tombouctou, à environ 900 km de piste de désert et à 1 800 km de Bamako. Les réserves qui forment un vaste dépôt contenant d'autres sels (de sodium et de magnésium avec présence de sylvine (KCl) et de sylvinite (KCl + NaCl)), ont été évaluées à 35 millions de tonnes de gypse, d'une pureté de 80 % et exploitables à ciel ouvert. On ignore cependant les réserves et la qualité des sels de potasse. Mais, du fait de la situation géographique, l'exploitation n'est pas rentable. De toute façon, il faut prospecter plus en détail la possibilité d'extraire des sels de potasse d'une manière artisanale.

Le gisement de Tessalit, à environ 500 km au nord-est de Bourem, est déjà en exploitation à une échelle modeste, pour fournir des matériaux de construction. Les réserves ont été estimées à 50 millions de tonnes.

Les coûts de production relatifs au procédé de fabrication du gaz  $SO_3$  et de l'acide sulfurique à partir du gypse sont au moins cinq fois plus élevés que ceux de la fabrication de l'acide sulfurique à partir du soufre, alors que les besoins en énergie sont très élevés. En outre, les frais de transport du gypse aux sites de la production éventuelle s'élèvent à 0,2 dollar/t/km. Il est donc évident que le gypse comme matière de base n'offre pas une solution économique pour la fabrication du ciment et de l'acide sulfurique .

Des indices de pyrites ont été signalés dans le Gourma à 60 km de Bourem et dans l'Adrar des Iforas. La quantité et la qualité des réserves ne sont pas connues. Puisque la fabrication du gaz  $SO_3$  à partir des pyrites par grillage est un procédé plus apte à la production de l'acide sulfurique, et tenant compte de la proximité des réserves de celles des phosphates de Tilemsi, il s'avérera utile d'entreprendre des travaux géologiques pour préciser les quantités du dépôt, leur qualité et le coût d'extraction, afin d'estimer leur valeur industrielle comme source d'acide sulfurique.

### 3. Les ressources hydrauliques

L'électricité peut fournir la ressource primaire à la fabrication de l'acide phosphorique par réduction des phosphates bruts dans un four électrique ainsi qu'à la fabrication de l'ammoniac (acide nitrique et engrais composés (20-20-0)) à partir de l'hydrogène électrolytique.

Le barrage de Tossaye (puissance de pointe totale : 17 MW) près des installations de recueil et de broyage du phosphate brut de Tilemsi à Bourem, et celui de Labezanga (puissance de pointe totale : 68 MW) près de la frontière nigérienne sont d'une productivité annuelle trop faible (respectivement 68 et 250 GWh) pour fournir les quantités d'électricité dont une usine d'ammoniac/acide nitrique a besoin pour fonctionner à une échelle de production au-dessus du seuil de rentabilité, à savoir 100 t/jour d'ammoniac, 360 GWh/an (330 jours).

Le seuil de rentabilité d'un four électrique avec une usine d'acide phosphorique en aval, est environ de 30 000 t de  $P_2O_5$  converti en acide par an, consommant 210 GWh, donc presque égal à la productivité du barrage de Labezanga, sans tenir compte de la faible production d'électricité durant la période d'étiage.

Ainsi, la valorisation des phosphates de la vallée de Tilemsi sur une échelle industrielle rentable, sous forme d'acide phosphorique ou d'engrais composés binaires (20-20-0) ne semble pas possible pour le moment.



#### IV. PLAN DIRECTEUR POUR LE DEVELOPPEMENT D'UNE INDUSTRIE D'ENGRAIS

L'analyse des ressources naturelles de la région du Liptako-Gourma et de leur mise en valeur a conduit aux conclusions suivantes quant au développement d'une industrie d'engrais.

Les réserves en phosphates naturels de Kodjari (Haute-Volta), du parc du W et de Tahoua (Niger) et celles de la vallée de Tilemsi (Mali) sont assez importantes pour permettre d'envisager une exploitation sur une échelle industrielle à long terme. Il semble que l'extraction des minerais puisse se faire sans trop de difficultés techniques étant donné que la plupart des gisements pourraient être exploités à ciel ouvert.

Les tout-venants de l'extraction, compte tenu de leur teneur en  $P_2O_5$  et en minerais accessoires indésirables, devront être soumis à des traitements d'enrichissement et d'épuration préalables, afin de pouvoir utiliser les procédés courants de la fabrication d'engrais.

Les procédés d'enrichissements classiques, par voie mécanique (tamisage ou concassage/broyage/criblage) ou par flottation, se sont montrés insuffisants pour produire des préconcentrés ou même des concentrés utilisables par l'industrie de transformation moderne. Par suite de leur faible capacité d'augmenter la teneur en  $P_2O_5$  (maximum 30 à 31 %; BPL 65,5 à 67,7) mais surtout de leur inaptitude à supprimer de façon suffisante les impuretés nuisibles, telles que la silice et le féal (AL + Fe) la qualité des concentrés obtenus ne correspond pas aux nécessités des procédés de fabrication classiques d'acide phosphorique.

Seule la méthode de flottation inversée utilisant des réactifs perfectionnés est efficace pour enrichir un tout-venant de façon à obtenir un concentré titrant de 34 à 35 % de  $P_2O_5$  (BPL 74-76,5) contenant des éléments nuisibles en pourcentage permmissibles. Pourtant, cette technique est coûteuse et majorera le prix de revient de 25 à 30 dollars/t de minerai enrichi.

Le minerai phosphaté du concentré de Kodjari, de Tilemsi et vraisemblablement aussi celui du Parc du W se sont montrés toutefois peu aptes à la fabrication d'acide phosphorique par l'attaque d'acide sulfurique, à cause de l'endogangue siliceuse ou des autres impuretés (alumine) qui provoquent une viscosité anormale de l'acide dilué produit, entravant sa concentration en aval.

En outre, en l'absence de soufre, le gypse, les pyrites et autres gisements de sulfures locaux n'offrent actuellement que peu de chances à la fabrication éventuelle de l'acide sulfurique sur une échelle industrielle à cause de leur enclavement et des procédés de transformation coûteux (gypse) ou à cause de l'insuffisance des réserves connues (sulfures, pyrites).

D'autre part, si le préconcentré obtenu par voie mécanique d'un tout-venant d'un quelconque gisement est vraisemblablement bien apte à l'attaque nitrique et à la fabrication des engrais nitro-phosphatés (20-20-0); l'étude du comportement du minerai phosphaté à l'attaque de l'acide nitrique n'a pas encore été faite pour aucun de ces gisements. L'ammoniac, matière de base pour la fabrication d'acide nitrique, peut être produit, en l'absence des hydrocarbures liquides et gazeux, à partir de l'hydrogène électrolytique, produit de l'électrolyse de l'eau.

Le procédé utilisant le four électrique convient davantage à la production d'acide phosphorique de haute qualité (76-80 % de  $P_2O_5$ ) à partir d'un tout-venant siliceux (concassé à 0,6-4,0 cm) de n'importe lequel des quatre gisements considérés. Un acide de cette qualité convient non seulement à la fabrication des engrais phosphatés hautement concentrés mais aussi à celle des détergents et pesticides.

Ces deux dernières techniques consomment de grandes quantités d'électricité, à savoir 11 000 kWh/t d'ammoniac converti en acide nitrique et 6 700 kWh/t de  $P_2O_5$  converti en acide phosphorique.

Parmi les barrages projetés le long du fleuve Niger, dans la région du Liptako-Gourma, seul celui de Kandadji (125-230 MW) et du parc du W (84 MW) au Niger auront des productibilités annuelles assez élevées (respectivement 750 GWh et 420 GWh) pour garantir les quantités d'électricité dont les

procédés de fabrication d'ammoniac au moyen de l'hydrogène électrolytique et de l'acide phosphorique au moyen du four électrique ont besoin pour fonctionner au-dessus d'un seuil de rentabilité de 80 t par jour d'azote en équivalence d'acide nitrique et 100 t de  $P_2O_5$  en équivalence d'acide phosphorique.

La situation géographique de tous les gisements de phosphates naturels, ainsi que les frais élevés de transport routier, ne permettent pas la commercialisation des concentrés du phosphate brut sur le marché mondial. Dans le meilleur des cas (l'évacuation partielle par le chemin de fer - Kodjari, parc du W), le seul prix du transport jusqu'à la côte (Abidjan, Cotonou) est presque une fois et demie plus élevé que le prix f.o.b. Afrique occidentale de la tonne de concentré d'autre provenance. D'autre part, en l'absence d'une infrastructure ferroviaire ouest-est, et à cause des frais élevés du transport routier, la ventilation des concentrés ou des engrais sur le plan régional ne pourra se faire que sur une distance d'environ 700 km, ce qui, avec la faiblesse du marché régional, empêchera n'importe quelle fabrication d'engrais sur une échelle industrielle de fonctionner de façon rentable pour le moment et à moyen terme.

Les gisements de Kodjari, de Tilemsi et de Tahoua sont actuellement exploités sur une échelle modeste (voir annexe II) et fournissent à l'agriculture des phosphates bruts finement broyés (90 microns) qui sont utilisés comme fumure de fond et d'entretien dans les trois pays. Ils se sont montrés en général peu efficace comparés aux engrais solubles, quand ils sont épandus directement sur des cultures annuelles dans les régions caractérisées par une pluviosité restreinte ( $< 1\ 000$  mm) et par des sols peu acides ( $pH > 5$ ). C'est surtout le phosphate de Kodjari (et celui du parc du W) qui, étant d'une nature apatitique peu carbonatée, s'est montré peu réactif et efficace, même broyé à une finesse de 60 à 90 microns. Les phosphates de Tilemsi et de Tahoua, contenant apatite carbonatée et autres éléments phosphatés, se montrent relativement plus réactifs. Néanmoins, leur efficacité n'est pas comparable à celle des engrais phosphatés solubles. Donc, l'utilisation de ces phosphates bruts dans l'agriculture des trois pays demeurera restreinte à quelques milliers de tonnes par an, à moins que leur réactivité ne soit améliorée par des traitements d'acidulation préalables.

La mise en valeur des phosphates naturels du Sahel devra donc être réalisée dans une première phase sur le plan national et sur une échelle modeste, correspondant aux différents besoins des trois pays, utilisant des techniques simples et peu coûteuses, telles que la fabrication de superphosphate simple (18-20 %  $P_2O_5$ ) ou des produits partiellement acidulés (procédé discontinu et semi-automatique) à partir d'un tout-venant préférablement préconcentré à 30 % de  $P_2O_5$  par voie mécanique peu coûteuse.

L'acidulation est effectuée par l'acide sulfurique. Le taux d'acidulation définitif se déterminera par des facteurs économiques (coût de l'acide sulfurique) et agronomiques (efficacité du produit acidulé) et il sera différent pour les phosphates bruts divers et en rapport avec leur réactivité intrinsèque et leur teneur en carbonates libres. La quantité d'acide sulfurique (100 %) nécessaire à l'acidulation du phosphate brut de Kodjari (teneur de  $P_2O_5$ ; 25,4 %; CaO : 34,45 %; CaO/ $P_2O_5$  : 1,356) jusqu'au niveau de superphosphate simple est théoriquement de 0,422 t la tonne de superphosphate simple.

Des essais agronomiques ont révélé que le phosphate de Kodjari et du parc du W acidulé à 40 % des quantités nécessaires à sa transformation en superphosphate triple aura presque la même efficacité agronomique que celle de superphosphate solubles. Ceci représente une consommation de 0,344 t d'acide sulfurique par tonne de phosphate brut au lieu des 0,422 t nécessaire pour produire le superphosphate simple - donc une économie de 20 % environ par rapport au superphosphate simple. Le taux d'acidulation pour les phosphates de Tilemsi et de Tahoua, plus réactifs que les autres, se situera vraisemblablement autour de 30 % ce qui doit être confirmé dans un bref délai par des recherches agronomiques réalisées d'abord à l'échelle du laboratoire et suivies d'essais dans les champs.

L'acide sulfurique peut être soit importé des usines d'Abidjan (Côte d'Ivoire) et de Dakar (Sénégal) ou obtenu par conversion du soufre importé ou en provenance des ressources localement disponibles. Les perspectives d'un approvisionnement à partir des gisements de sulfures locaux dépendront du délai de recherches géologiques et minières encore à effectuer. Dans ce domaine, la Haute-Volta semble être la plus avancée et la plus proche d'une exploitation éventuelle de ses ressources à Perkoa.

En résumé, la mise en route de la production de superphosphate simple ou des produits partiellement acidulés à partir des phosphates naturels localement disponibles et de l'acide sulfurique ou du soufre importé selon le procédé discontinu et sur une échelle de capacité convenant aux besoins des différents pays précités est la plus justifiée et devrait être réalisée le plus vite possible.

Les principales données pour la fabrication ont été élaborées dans le chapitre V. Il en ressort que le prix de revient pour une tonne de superphosphate simple produit localement sera de 125 dollars - ce qui représente une différence d'environ 100 dollars par rapport au prix c.a.f. livré de la tonne de superphosphate simple importé. Donc un avantage de pénétration commerciale de plus de 600 km (45 FCFA/tkm).

En ce qui concerne l'assistance internationale, l'ONUDI, dans le domaine technique, peut assister les pays dans l'évaluation industrielle des phosphates, notamment définir l'aptitude à l'acidulation (finesse du broyage et taux d'acidulation par rapport à leur réactivité intrinsèque, temps nécessaire pour compléter la réaction digestive, la maturité du produit, sa condition physique afin de déterminer la nécessité d'une granulation. Ensuite, dans le domaine technico-économique, l'ONUDI aidera à déterminer les capacités d'installation et les dispositifs nécessaires à la fabrication des produits précités selon le procédé discontinu, puis à réaliser l'étude relative à la viabilité de l'entreprise et à sa localisation (voir chapitre V).

## V. PROJET DE FABRICATION

### A. Description du projet

L'objectif du projet est la production d'engrais phosphatés obtenus à partir de phosphate naturel des gisements locaux et de soufre ou d'acide sulfurique importé, pour remplacer les importations, de façon à économiser les devises étrangères et à diminuer le prix des engrais. La production locale d'engrais phosphatés stimulera aussi la demande et facilitera la distribution.

Le phosphate naturel local sera broyé et attaqué par de l'acide sulfurique dosé, de façon à améliorer la réactivité du phosphate et à obtenir un produit permettant d'augmenter le rendement des récoltes, dans une proportion comparable à celle obtenue à l'aide d'engrais commerciaux tels que le superphosphate triple et le superphosphate simple.

Il sera préférable d'enrichir le phosphate naturel mécaniquement, de façon à obtenir la teneur la plus élevée possible de  $P_2O_5$  dans le minerai et ensuite dans le produit final. Les usines de broyage existantes du Mali, de la Haute-Volta et du Niger devraient donc être agrandies et dotées d'installations simples d'enrichissement du minerai.

La technique de production doit être simple, il s'agit d'un procédé semi-automatique en discontinu selon lequel le phosphate naturel broyé et enrichi et l'acide sulfurique sont mélangés et entrent en réaction dans le même récipient puis, à la fin de la réaction, sont transversés dans des bacs où le produit reste en maturation pendant plusieurs semaines avant d'être ensaché et vendu.,

La décision de granuler ou non le produit arrivé à maturité dépendra de ses propriétés physiques. L'usine devrait de préférence être implantée à proximité d'un noeud ferroviaire (pour les importations de soufre/acide sulphurique) et jouir d'une situation centrale par rapport aux grands débouchés commerciaux.

Elle devrait être également bien reliée aux installations existantes de broyage du phosphate.

Le calendrier d'exécution du projet sera le suivant :

	<u>En années</u>
Essais préliminaires	3
Etude technique de l'usine, travaux de construction et mise en route des installations	2
Total	3-5

## B. Essais préliminaire

### 1. Essais techniques

Pour l'étude et la mise au point technique, il conviendra de définir les paramètres suivants en laboratoire et sur le terrain :

- Délai nécessaire pour que la réaction soit complète;
- Délai nécessaire pour que l'engrais arrive à maturité;
- Propriétés physiques des produits et nécessité de les granuler ou non;
- Température de la réaction;
- Finesse du broyage;
- Taux d'enrichissement du phosphate naturel par des moyens simples;
- Consommation d'acide sulfurique;
- Consommation de phosphate naturel.

### 2. Essais agronomiques

Des essais en pot en laboratoire suivis d'essais sur le terrain puis des réalisations expérimentales devraient être entrepris avec diverses cultures pour déterminer le taux d'imprégnation du phosphate naturel par l'acide permettant d'obtenir des rendements voisins de ceux obtenus avec des superphosphates commerciaux.

### 3. Essais technico-économiques

Des études techniques et des études économiques sont nécessaires pour établir :

- La qualité des produits et les programmes de production;
- L'emplacement de l'usine et son aménagement;
- Les principales installations et leurs capacités;
- Les techniques de fabrication;
- Les besoins en matières et en viabilités;
- Les installations en dehors de l'emplacement et les entrepôts;
- L'organisation de l'usine et les besoins de main-d'oeuvre;
- Le calendrier d'exécution;
- Les coûts d'investissements et les coûts de production;
- Les analyses de rentabilité et l'évaluation économique.

### C. Coûts

#### 1. Capacités et estimation des frais d'investissement

Il faudrait concevoir les capacités de l'usine pour qu'elles répondent aux besoins prévus, exposés au chapitre I.

Les coûts d'investissements relatifs à l'acide sulfurique et l'usine où s'opérera la réaction phosphate/acide différeront donc, comme le révèle le tableau 15.

Tableau 15. Coûts d'investissement (acide sulfurique)

Pays	Besoins prévus, en t/an de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> pour 1990 <sup>25</sup> (en t/an)	Usine de super- phosphate simple, capacité minimale		Investissements superphosphates simple + acide sulfurique (en millions de dollars)
		En t/jour	En t/an	
Mali	11-12 000	250	80 000	7,0
Haute-Volta	7- 8 000	200	60 000	5,6
Niger	2 000	50	15 000	1,5



2. Estimation des coûts de production (tableaux 16 et 17)

En se basant sur le prix du soufre, qui est de 200 dollars/t et sur le prix du phosphate naturel, qui est de 74 dollars/t livrée à l'usine, le coût de production approximatif pour un produit acidulé, égal à celui du superphosphate simple, sera de 125 dollars/t; cette estimation tient compte d'un revenu du capital de 10 %.

La différence entre le prix courant à l'importation et le prix de revient estimé pour un superphosphate simple est d'une centaine de dollars/t, ce qui laisserait une marge suffisante pour que le produit local puisse concurrencer les importations.

Plus le taux d'imprégnation de l'acide nécessaire sera faible (consommation d'acide sulfurique) et plus les coûts du transport du phosphate et de l'installation de broyage à l'usine seront bas, plus rentable sera la production locale.

Tableau 16. Estimation préliminaire des coûts de production  
Acide sulfurique

Capacité de l'usine, t/jour (100 %)		100		
t/an (100 %)		33 000		
Type de procédé <sup>a/</sup>		Double contact/ absorption		Contact simple/ absorption
Investissements (en millions de dollars) <sup>b/</sup>				
Total du capital fixe		5,0		4,2
Fonds de roulement		-		-
Matières premières		soufre, énergie, catalyseurs		
Concentration de l'acide		99-99,5		
Postes de dépenses	Unité	Coût unitaire en dollars	Quantité	Total des coûts en dollars
Coûts variables				
Soufre <sup>c/</sup>	t	200	0,34	69,00
Eau utilisée pour le procédé	t	0,4	1,25	0,50
Eau de refroidissement	m <sup>3</sup>	0,02	25,8	0,52
Electricité	kWh	0,2	65,0	13,00
Vapeur excédentaire	t	-	1,0	
Total partiel				83,02
Frais fixes				
Entretien/réparation	5 % du coût du capital			7,30
Main-d'oeuvre affectée				
Personnel d'exploitation	0,18 h de travail			2,80
Frais généraux	100 % des frais de main-d'oeuvre			2,80
Amortissement	10 % du coût du capital			15,20
Assurance, impôts	2 % du coût du capital			2,90
Total partiel				31,00
Total des coûts de fabrication par tonne				114,02

<sup>a/</sup> Double contact/absorption pris comme base de calcul.

<sup>b/</sup> Comprend : f.o.b. construit en Europe + livraison supplémentaire et coûts de construction (40 %)

<sup>c/</sup> Le prix c.a.f. est le prix livré usine, y compris 80 dollars pour fret maritime et transport intérieur par voie ferrée.

Tableau 17. Estimations préliminaires des coûts de production  
Superphosphate simple

Capacité de l'usine, t/jour (100 %)		250		
t/an (100 %)		82 500		
Type de procédé <sup>a/</sup>		Semi-automatique, discontinu		
Investissements (en millions de dollars) <sup>b/</sup>		2,0		
Montant du capital fixe		1,8		
Fonds de roulement		0,2		
Matières premières		soufre, phosphate naturel, énergie		
Qualité du phosphate naturel		30 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		
Qualité du produit		18,5-19 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		
Marge de contraction		15 %		
Postes de dépenses	Unité	Quantité	Coût unitaire en dollars	Total des coûts en dollars
<b>Coûts variables</b>				
Acide sulfurique (100 %) <sup>b/</sup>	t	0,43	114,00	49,00
Phosphate naturel <sup>c/</sup>	t	0,68	74,00	50,2
Electricité	KWh	21,0	0,02	0,4
Vapeur <sup>d/</sup>	t	0,055	-	-
Eau <sup>e/</sup>	t	0,085	-	-
Sacs/ensachage		20	0,27	5,4
Total partiel				105,00
<b>Frais fixes</b>				
Main d'oeuvre/encadrement		0,2 h de travail		3,20
Frais généraux		100 % des frais de main-d'oeuvre		3,20
Entretien/réparation		5 % des coûts de capital		1,20
Amortissement		10 % des coûts de capital		2,40
Assurance, impôts		2 % coût fixe		0,70
Assurance, impôts		2 % du coût fixe		0,70
Intérêt sur le fonds de roulement (10 % du fonds de roulement)				0,24
Intérêt sur le capital fixe (au total 2 usines) 10 %				8,40
total partiel				19,34
Total des coûts de fabrication par tonne de produit (y compris 10 % de revenu du capital)				124,34

<sup>a/</sup> Comprend : acidulation, entreposage, broyage mais pas la granulation pour laquelle il faut prévoir un montant supplémentaire de deux millions de dollars.

<sup>b/</sup> Voir tableau 16.

<sup>c/</sup> Y compris l'extraction (5 dollars), le broyage et l'enrichissement (16 dollars) et le transport jusqu'à l'usine (53 dollars).

<sup>d/</sup> Se rapporte aux besoins de granulation.

<sup>e/</sup> Moyenne des coûts de transport, 0,15 dollar (45 FCFA) par tonne kilométrique.

Annexe I

DONNEES DU BARRAGE DE KANDADJI

Cote de la crête du barrage	+231 m		
Barrage élevé à la cote	+228 m		+239 m
Hauteur barrage sur terrain	18 m		40 m
Cote minimum d'exploitation	223 m		
Surface maximale du bassin	25 000 ha		
Volume total de la retenue	14 x 109 m <sup>3</sup>		
pour un volume utile de	1 000 hm <sup>3</sup>		
Débit moyen	988 m <sup>3</sup> /s		
Débit équipé	675 à 1 125 m <sup>3</sup> /s		
Module décennal sec	700 m <sup>3</sup> /s		
Hauteur de chute brut max.	13 m		
Hauteur de chute brut min.	8 m		
Volumes moyens annuels			
Apports bruts	31 150 hm <sup>3</sup>		
Turbinables	16 818 hm <sup>3</sup>		
Conversion des m <sup>3</sup> en kWh	32,4 m <sup>3</sup> /kWh		
Performances énergétiques			
1. Puissance installée (MW)	3 x 25 = 75	5 x 25 = 125	230
2. Production en hydraulicité			
- Potentielle	657	1 095	2 000
- Moyenne annuelle	520	750	1 500
3. Energie trimestrielle garantie durant les trois mois secs (mai-juillet) en année décennale sèche (probabilité : 90 %)	15	50	275
Superficie à irriguer (ha)		140 000	
Coûts d'investissements (FCFA) (1981)		130 milliards	
Coût moyen de revient FCFA/kWh	2,5-8		

Annexe II

GISEMENTS DE KODJARI, TAHOUA, TILEMSI  
ETAT ACTUEL D'EXPLOITATION

A. Gisements de Kodjari (Haute-Volta)

Le projet phosphate de Haute-Volta, créé dans le cadre de la coopération économique et technique de la République fédérale d'Allemagne et de la Haute-Volta comme organisation autonome chargée de l'extraction, du traitement et de la distribution du phosphate naturel de Kodjari, a démarré ses activités en 1978.

La carrière est située à Diapaga, à environ 42 km de Kodjari. Des affleurements sont exploités jusqu'à une profondeur maximum de 3 m avec des outils pneumatiques et des chargeurs mécaniques mobiles. La roche ainsi extraite, contenant 25 à 27 %  $P_2O_5$ , est transportée par camion de la carrière à Kodjari où le minerai brut est broyé à une finesse de 90 microns.

Le contrôle de la qualité en ce qui concerne la teneur en  $P_2O_5$  (mais non le taux de solubilité) est effectué par des prélèvements réalisés chaque fois sur 100 t de produit moulu. Le produit moulu, appelé "Volta phosphate" et conditionné en sacs polyéthylène de 50 kg est évacué par la route vers les magasins de stockage de Ouagadougou (460 km), Bobo-Dioulasso (820 km) où se fait la ventilation du phosphate brut dans les régions du centre, centre-ouest et sud-ouest du pays.

Les quantités produites et vendues depuis 1978 sont indiquées ci-dessous :

	<u>Production</u>	<u>Ventes</u>
	(en tonnes)	
1978	68	52
1979	1 025	908
1980	604	182
1981	1 720	767
1982	600	

La capacité du broyeur installé est de 2,5 t/h, ce qui permet d'arriver à une production de 7 500 t/an (10 h/jour, 300 jours/an).

Le prix de revient sur la base d'une production annuelle de 2 000 t est actuellement de 21 000 FCFA/t. En ajoutant les frais de transport à partir de l'usine et ceux de manutention, stockage, etc., le coût de revient total s'élève à 50 000 FCFA/t, alors que le prix de cession pour 1982/83 est fixé à 25 000 FCFA/t, donc la moitié du prix réel.

Composition du minerai extrait

Echantillons	$P_2O_5$	CaO	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	MgO	$CO_2$	Cl	F	Perte au feu
	27,59	34,39	23,47	4,23	2,98	0,18	1,94		2,64	4,29

Source : Office fédéral de géosciences et des ressources minérales, Hanovre (RFA), 1981.

B. Gisement de Tahoua (Niger)

Au Niger, les phosphates naturels de Tahoua sont exploités depuis 1976. Mais ce n'est qu'à partir de 1980 que l'ONAREM s'est chargé de l'extraction et du broyage. La distribution du produit moulu est faite par l'Union nigérienne de crédit et de coopération (UNCC).

La carrière est située à Im Akker à environ 635 km de route et de piste de Niamey en direction du Nord-Est. Le gisement est exploité d'une manière plutôt artisanale que semi-industrielle. L'extraction s'effectue par ramassage à la main de coprolithes de taille et de qualité variables et à vue. Le minerai ainsi extrait contenant 20 à 36 %  $P_2O_5$  d'une solubilité variable est transporté par camion à Tahoua (40 km) où le phosphate brut est moulu à 100 microns de finesse, ensaché et vendu aux acheteurs. Il n'y a pas de contrôle de la qualité en dépit de la qualité variable du minerai extrait.

Les quantités produites entre 1979 et 1982 s'élèvent à 3 000 t. La capacité installée du broyeur est 2,5 t/h soit 7 500 t/an (10 h/jour, 300 jours/an)

Le prix de vente sortie usine est de 58 000 FCFA/t. Il est plus cher que le prix de revient du superphosphate simple importé et rendu Niamey.

Le prix de cession, de 25 000 FCFA/t est donc fortement subventionné.

### C. Gisement du Tilemsi (Mali)

La Société nationale de recherche et d'exploitation des ressources minières (SONAREM) est chargée de l'exploitation des gisements de phosphate dans la vallée de Tilemsi. Le gisement est situé à Tamaguelelt où des affleurements du dépôt sont exploités depuis 1977. L'extraction qui est mécanisée depuis 1980 s'effectue par le décapage d'une couche de latérite stérile (environ 1 m) suivi par l'excavation de 1,5 à 2 m. Cette couche est constituée par trois bancs dont deux sont exploités, la zone supérieure titrant en moyenne 28 à 32 %  $P_2O_5$  et la zone intermédiaire 22 à 26 %  $P_2O_5$ . Il n'y a pas d'homogénéisation au site et le minerai brut consistant en coprolithes de tailles diverses et de grains fins argileux est évacué par camion à une distance de 120 km vers Bourem où se trouve la station de broyage.

Le minerai, d'une qualité variable, est broyé à une finesse de 90 microns, ensaché et évacué par chalands de 100 à 200 t qui remontent le Niger jusqu'à Mopti (710 km), Markala et Koulikoro (1 300 km) - 15 jours de voyage - où se trouvent des magasins de stockage et de vente, ainsi qu'à Kati près de Bamako. La période limitée de navigabilité du fleuve qui ne peut être utilisé vers Koulikoro que dans la période de septembre à octobre, vers Markala de septembre à décembre et vers Mopti de septembre à janvier et les petites quantités à transporter à la fois (500-1 000 t) et par an (10 000 t) sont des contraintes importantes à l'évacuation du produit à partir de Bourem.

Le broyeur installé en 1980 a une capacité de 7,5 t/h, donc environ 22 500 t/an (10 h/jour, 300 jours par an).

La production depuis le début des opérations s'élève à 4 800 t, et bien que des prélèvements aient été faits tous les jours d'opération, on ignore la qualité précise des produits parce qu'ils ne sont pas analysés régulièrement.

Le prix de revient par tonne sortie station de broyage pour une production de 10 000 t/an s'élève à 35 000 FM. En ajoutant les coûts de transport, manutention et stockage, le prix de revient sortie magasin dans les parties de l'ouest du pays aboutira à 65 000-70 000 FM/t, alors que le prix de cession au cultivateur est fixé à 50 000 FM/t. Le tarif de transport fluvial est 14 FM/t/km.

Composition approximative du minerai extrait

Echantillons	$\text{P}_2\text{O}_5$	CaO	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	MgO	$\text{CO}_2$	Cl	F	<u>Perte au feu</u>
1	28,61	35,56	14,27	3,02	6,28	0,28				8,09
2	30,86	37,73	10,85	2,19	5,75	0,27	-	-	-	7,91
3	27,9	43,12	14,30	9,3	-	0,21	2,30	0,17	2,60	-

Sources : 1 et 2 : Office fédéral de géosciences et des ressources minérales,  
Hannovre (RAF), 1981.

3 : Truong, 1978.



Annexe III

LISTE DES ORGANISMES VISITES

En Haute-Volta

Ministère du développement rural

Ministère du commerce, du développement industriel et des mines

Ministère de l'économie et du plan

Office des projets de Tambao

Bureau voltaïque de la géologie et des mines

FAO : Programme engrais

Comité inter-Etats de lutte contre la sécheresse dans le Sahel

Société de fibres textiles

Projet phosphate

UNDP : Projet minier Perkoa

Institut de recherches agronomiques tropicales

Au Mali

Ministère du développement, de l'industrie et du tourisme

Direction générale des industries

Société de crédit agricole et d'équipement rural

Société nationale de recherche et d'exploitation des ressources minières

Compagnie malienne pour le développement des textiles

Direction générale de l'hydrologie

Fonds européen de développement

Direction générale de la géologie et des mines

Projet phosphate de Bourem

Au Niger

Ministère du Plan

Ministère des mines et de l'industrie

Office national de recherche et d'exploitation des ressources minières

Autorité du Bassin du Niger

Office national d'aménagement hydraulique agricole

Institut national de recherche agronomique du Niger

NIGELEC

Union nigérienne de crédit et de coopération

Ministère de l'hydraulique

Ministère de l'Autorité des barrages

BIBLIOGRAPHIE

HAUTE-VOLTA

- IRAT : Caractérisation et comparaison des phosphates naturels tricalciques d'Afrique de l'Ouest en vue de leur utilisation directe en agriculture
- FAO : Programme engrais de la FAO en Haute-Volta  
Rapport annuel 1979, 1980, 1981
- Projet phosphate : . Rapport de synthèse des résultats des essais et démonstration, 1982
- . Aperçu sur le projet phosphate
  - . Projet phosphate et Volta phosphate, octobre 1981
  - . Etudes IFDC sur la réactivité du phosphate de Kodjari 1981/82
  - . Analyses chimiques par l'Office fédéral de géosciences et des ressources minières, Hannovre (RFA), 1981
- Bureau voltaïque de la géologie et des mines Etudes et travaux géologiques et minéralogiques sur le phosphate de Kodjari par charbonnages de France

MALI

- SONAREM . Etudes et travaux géologiques et minéralogiques sur le phosphate de Tilemsi par Kloeckner (1968-1973)
- . Caractérisation chimique et minéralogique du phosphate de Tilemsi par Truong 1978
  - . Analyses effectuées par l'Office fédéral de géosciences et des ressources minérales, Hannovre (RFA), 1981
  - . Les phosphates de Tilemsi et l'avenir de l'industrie des engrais au Mali, A.C. Cissé 1981
- Institut d'économie rurale . Utilisation agricole des phosphates naturels de Tilemsi par Thibault, Traoré, Pichot 1981
- . Etudes des phosphates naturels de Tilemsi en zone cotonnière par Sanogo, Gaborel et Traoré 1973-1977
  - . Projet SAFGRAD au Mali, Rapport de la campagne 1981
  - . Projet de recherches et études sur les phosphates naturels de Tilemsi (IFDC), 1982

NIGER

- ONAREM : : Etudes et travaux géologiques et minéralogiques sur le phosphate naturel du parc W par BRGM (France), SNC (Canada), OURD (Japon) et sur le phosphate de Tahoua par Watis, Griffis and Mcquant
- INRA : : Rapport d'activités, 1981
- INRAT : : Programme des recherches, 1982
- INRAT : : Utilisation des phosphates naturels du Niger, J. Charoy, 1977

