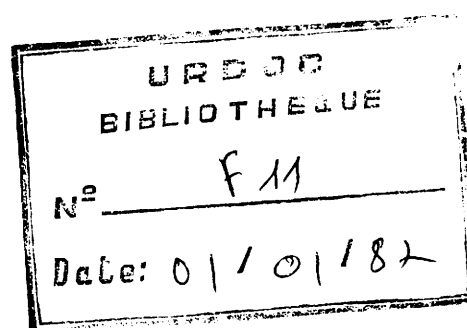


SOMMAIRE DU TITRE 9**ESSAIS AGRONOMIQUES**

CHAPITRE 1	INTRODUCTION
CHAPITRE 2	METHODOLOGIE DE L'EXPERIMENTATION
CHAPITRE 3	DEROULEMENT DES ESSAIS AGRONOMIQUES
CHAPITRE 4	COMPARAISON ENTRE LES MINERAIS PHOSPHATES
CHAPITRE 5	ANALYSE DES RESULTATS
CHAPITRE 6	ETUDE DES PROCESSUS DE RETROGRADATION
CHAPITRE 7	CONCLUSION GENERALE



CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1. INTRODUCTION

Le phosphore est un constituant essentiel du monde vivant, son importance dans la nutrition de la plante est connue depuis plus d'un siècle.

Comme a pu l'écrire JAVILLIER : "il apparaît aux yeux du biochimiste comme un véritable factotum, revêt de multiples formes et se mêle de tout ce qui touche à la vie".

Sa participation dans tous les processus de croissance, de synthèse et de mise en réserve explique son importance dans le cycle végétatif et sur la précocité.

Le manque de phosphore se caractérise par une perturbation de la physiologie de la plante et un développement anormal du végétal aussi bien dans les parties aériennes que souterraines.

Cette carence est identifiée par des teintes plombées ou mates, vert bleuté, avec parfois des colorations pourpres allant même jusqu'au rouge ainsi que par un certain nanisme.

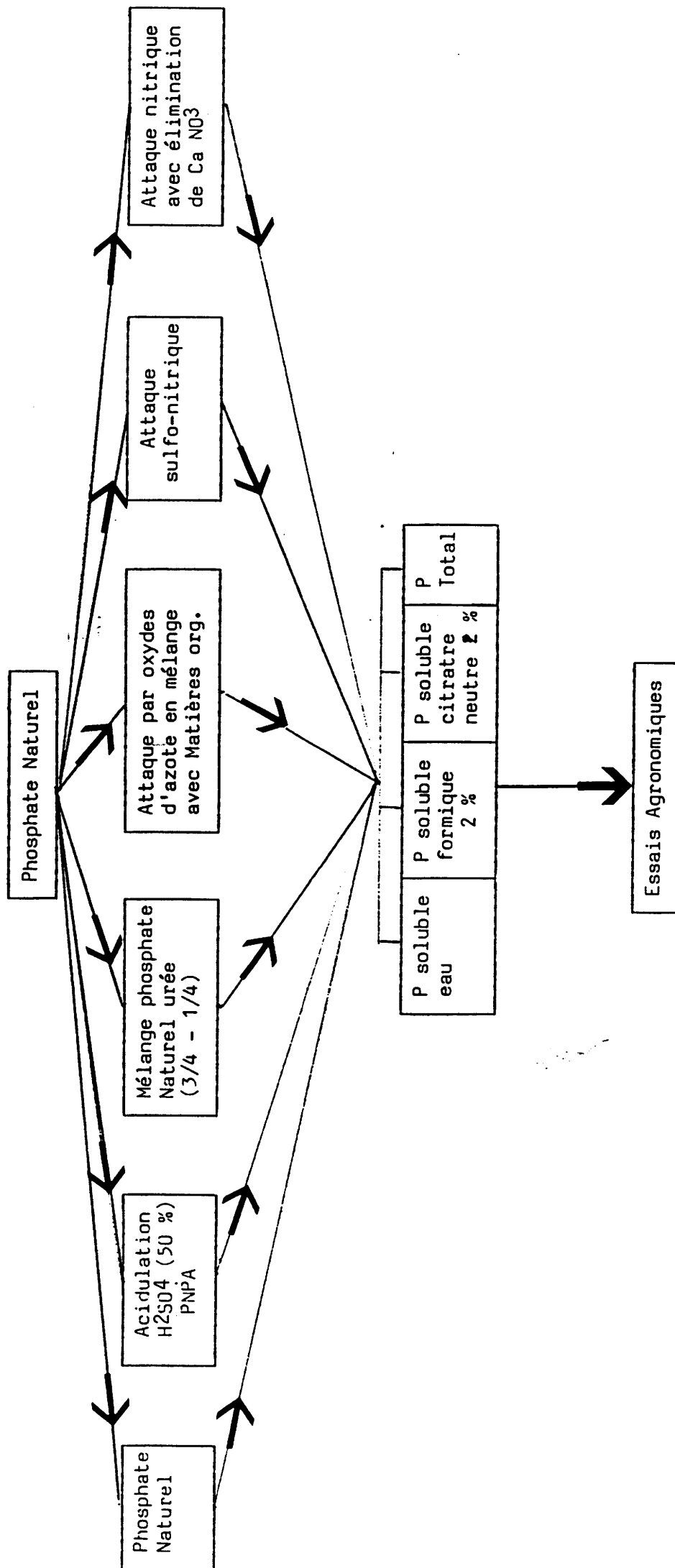
La plante puise dans le sol, en particulier dans la rhizosphère, le phosphore dont elle a besoin, en même temps que les autres éléments.

Une partie seulement du phosphore du sol est utilisable par les plantes, c'est ce qu'on appelle le "phosphore assimilable" ou "phosphore disponible". Il en résulte la nécessité pour les agronomes d'effectuer régulièrement des apports d'engrais, afin de compenser les exportations de phosphore entraînées par les récoltes et de maintenir un niveau suffisant en phosphore assimilable dans les sols.

Dans certains pays, notamment en Afrique, l'augmentation continue du prix des engrais rend leur coût prohibitif pour les agriculteurs. De ce fait, l'Etat est souvent appelé à subventionner l'utilisation des engrais de première nécessité.

La mise en valeur des ressources nationales, et précisément l'exploitation de nombreux phosphates naturels régionaux pourrait être, dans certains cas, une solution à ces problèmes.

Par ailleurs, une importante augmentation des rendements à l'unité de surface et une sédentarisation accrue des exploitations agricoles s'avèrent indispensables pour mettre un terme aux problèmes engendrés par l'accroissement démographique qui se posent depuis de nombreuses années dans certains pays.



SCHEMA DES DIFFERENTS TRAITEMENTS EFFECTUES SUR CHAQUE

ECHANTILLON DU MINERAL

CHAPITRE 2

METHODOLOGIE DE L'EXPERIMENTATION

2. METHODOLOGIE DE L'EXPERIMENTATION

La détermination du besoin d'un sol en engrais phosphaté est liée généralement à la notion de "Phosphore assimilable".

Ceci a abouti à la mise au point d'un certain nombre de techniques chimiques, biologiques et isotopiques.

Les études publiées par AMER et al, (1955), MOSER et al (1959), THOMPSON et al (1960), ainsi que l'examen complet des réactifs d'extraction utilisés aux ETATS-UNIS (BINGHAM, 1962), montrent que les résultats obtenus sont très variables. Ceci signifie donc, qu'aucune technique d'extraction chimique n'est pleinement satisfaisante pour apprécier la disponibilité des phosphates du sol.

La mise au point d'une technique utilisant une plante comme "réactif" d'extraction permet d'obtenir des résultats beaucoup plus fiables pour apprécier le "phosphore assimilable".

Cette technique présentée initialement par Stanford et De Ment (dont elle porte le nom) en 1957, a depuis été utilisée et précisée par de nombreux chercheurs : QUEMENER et ROLLAND (1970), VIRMANI et al (1966), MEY (1979)...

2.1. PRINCIPE

La méthode Stanford et de Ment consiste en une culture carencée en phosphore sur un substrat inerte ("sable"), dans un récipient pourvu d'un fond en toile (Le tableau 9.2.1.a) donne les caractéristiques du sol utilisé). L'arrosage s'effectue avec une solution nutritive sans phosphore durant la période des cultures.

Quand le feutrage racinaire est suffisamment abondant (après dix jours au minimum), le pot est placé au contact d'un autre récipient renfermant le milieu à tester.

La durée de contact est normalement courte. Pour cette étude, après essais, nous avons adopté un temps d'extraction de dix jours.

2.2. CONDITIONS EXPERIMENTALES

a) Station

Les cultures ont été effectuées dans une enceinte à température maintenue sensiblement constante à 25° C, sous éclairage artificiel convenable.

b) Matériel

- Pot : les pots utilisés ont été fabriqués spécialement pour ce type d'étude.
 - . Le premier pot (pot supérieur), dans lequel s'effectue la germination et la culture pendant les dix premiers jours est constitué par un cylindre en plastique de 11 cm de diamètre et 5 cm de hauteur, fermé par une toile plastique à maille de 1,5 mm.
 - . Le deuxième pot (pot inférieur) au-dessus duquel s'effectue la culture, est de diamètre légèrement supérieur, 12 cm, et de hauteur 4 cm. Il est fermé lui aussi par une toile de maille de 1,5 mm.

Le remplissage des pots s'effectue de la manière suivante :

- . 1er pot : 500 g de sable de granulométrie comprise entre 0,2 et 5 mm, dont 100 g au-dessus des graines.
- . 2ème pot : 10 g de sol dilué dans 190 g de sable auquel est ajouté l'engrais à étudier.

c) Choix végétal

La plante idéale devrait présenter les trois qualités suivantes:

- grande homogénéité génétique,
- développement rapide des racines,
- grand pouvoir d'absorption vis-à-vis de l'élément étudié.

Nous avons choisi le ray-grass qui satisfait aux critères ci-dessus, et dont les graines sont de faible taille, ce qui limite l'apport de phosphore par les semences.

2.3. REALISATION DES CULTURES

Afin de maintenir un taux d'humidité sensiblement constant et qui correspond à la valeur optimum pour le développement de la végétation, nous avons pesé quotidiennement les pots. L'eau évaporée a été remplacée par des apports compensatoires, soit de solution nutritive (Tableau 9.2.3.a), soit d'eau distillée (afin d'éviter une salinisation excessive du milieu). Dans nos conditions expérimentales, nous avons apporté la solution nutritive un jour sur deux, au rythme de 20 à 30 ml par apport. Cette solution nutritive est complémentée en oligo-éléments de manière habituelle.

Pour les témoins avec phosphore, l'apport de P^{205} est effectué sous forme de PO^4H^2K .

2.4. RECOLTE

Après vingt jours de culture, dont dix jours au contact de l'échantillon étudié, on procède à la coupe des parties aériennes.

La matière végétale est immédiatement séchée et broyée. Le dosage du phosphore est effectué sur les cendres obtenues après calcination ménagée.

Ce dosage du phosphore est effectué par spectrophotomètre d'absorption moléculaire du complexe phosphovanadomolybdate à 360 nm (cf figure 9.2.4.a).

Tableau 9.2.3.a : Composition chimique de la solution nutritive utilisée au cours des essais agronomiques.

Anions (meq/l) Cations	NO_3^-	SO_4^{--}	$H_2PO_4^-$	Totaux
K^+	5	0	0	5
Ca^{++}	10	0	0	10
Mg^{++}	0	4	0	4
Totaux	15	4	0	19

(+) Oligo-éléments

Tableau 9.2.1.a : Résultats d'analyses physico-chimiques du sol utilisés lors des essais agronomiques (sol du BURKINA FASO-P⁵)

PH eau	PH Kcl	C ‰	N ‰	MO ‰	C/N
5,80	4,97	6,44	0,43	11,6	14,9

Ca ⁺⁺ (1)	Mg ⁺⁺ (1)	K ⁺ (1)	Na ⁺ (1)	C.E.C.(2)	T (1)
4	0,38	0,14	0,045	4,56	6,25

TF %	A %	L %	S %	p ²⁰⁵ assi- milable (Truog)ppm	p ²⁰⁵ total (ppm)
51,30	7,40	18,5	70,90	18	640

(1) meq/l

(1) Réactif de Truog (acide sulfurique $\frac{N}{500}$ + sulfate ammonium 3 g/l)

(2) meq/100 g.

Annexe au Tableau 9.2.1.a :

- Caractéristiques physico-chimiques du sol utilisé

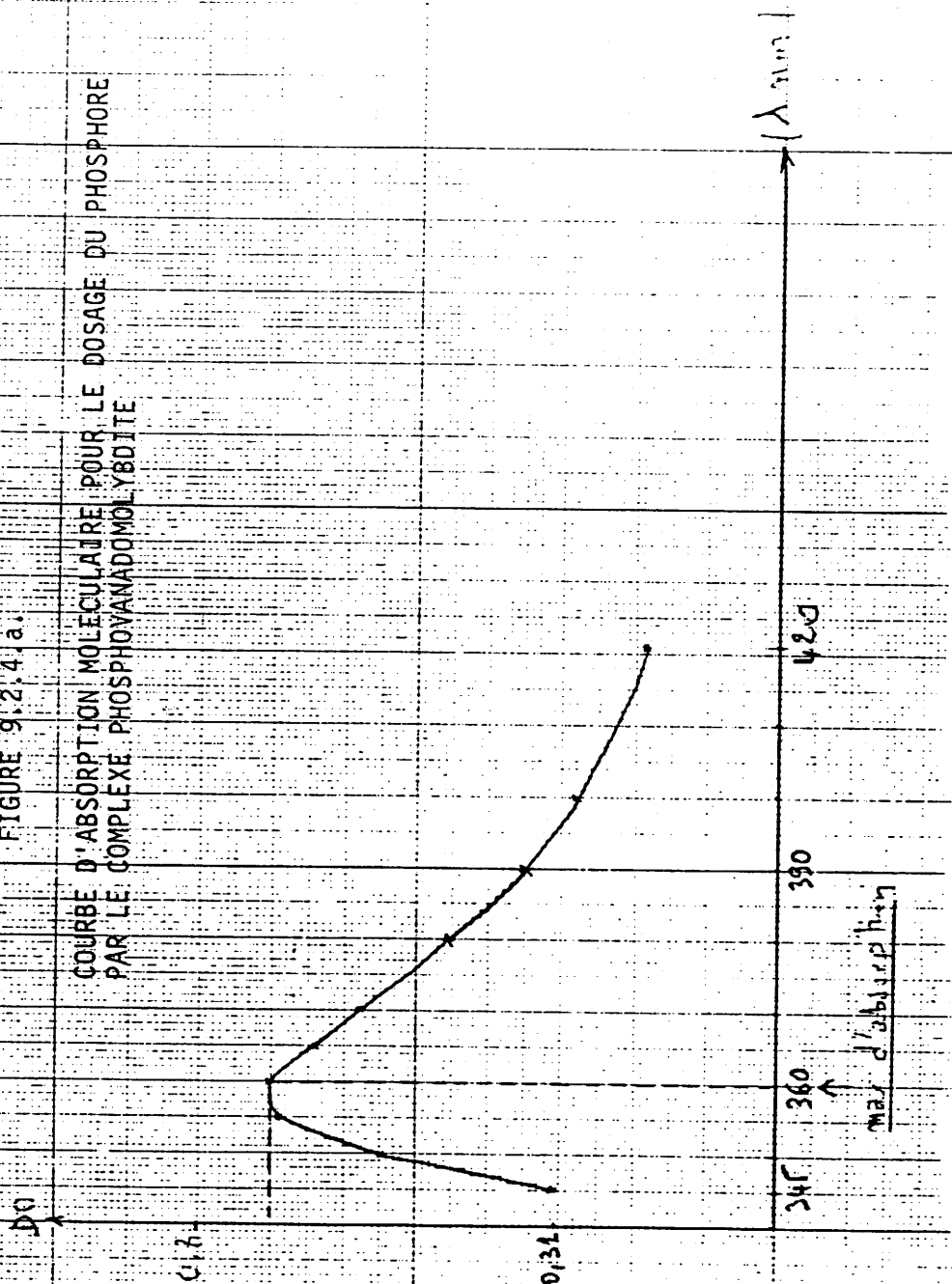
- . Sol à dominante sableuse, lessivé.
- . Sol acide.
- . % terre fine (51 %), le reste est formé par les graviers et les concrétions fériques et minérales.
- . Rapport C/N élevé, ce qui peut traduire une mauvaise minéralisation de la matière organique en liaison avec l'acidité du milieu.
- . Capacité d'échange faible.
- . Pauvre en K^+ .
- . Teneur en P^{205} assimilable faible.

Remarque :

Le sol utilisé pour les essais agronomiques provient des sols de BURKINA FASO sur des terres qui n'ont jamais reçu d'engrais chimiques. Ces sols ont été fournis grâce aux bons soins de l'IRAT.

FIGURE 9.2.4. a.

COURBE D'ABSORPTION MOLECULAIRE POUR LE DOSAGE DU PHOSPHORE
PAR LE COMPLEXE PHOSPHOMOLYBDATE



CHAPITRE 3

DEROULEMENT DES ESSAIS AGRONOMIQUES

3. DEROULEMENT DES ESSAIS AGRONOMIQUES

3.1. PRELIMINAIRE

L'étude demandée devait être réalisée dans un temps très court. Il a donc été nécessaire d'adopter des méthodes qui permettent d'apprécier la valeur fertilisante des différents engrais à étudier dans le délai imparti.

Les méthodes chimiques classiques utilisées pour juger de la disponibilité du phosphore d'un engrais phosphaté ont un caractère conventionnel et ne rendent pas compte du potentiel de prélèvement du végétal lorsque celui-ci est placé dans le milieu naturel.

C'est pourquoi, nous avons préféré adopter, pour cette étude, la méthode de Stanford et De Ment, qui utilise la plante en tant que "réactif d'extraction" des phosphates. Cette méthode présente l'avantage de donner en 3 semaines des résultats fiables.

Il faut cependant préciser que, dans les conditions naturelles, d'autres facteurs interviennent dans la dynamique du phosphore, en particulier tous ceux qui sont contrôlés par l'activité microbologique des sols. Leurs effets qui se font sentir à long terme, c'est-à-dire après plusieurs mois et même plusieurs années, ne sont pas enregistrés par cette méthode.

La dose de phosphore total (Pt) apportée par pot a été limitée à 10 mg de manière à mettre plus facilement en évidence des différences éventuelles entre les différents minerais et leurs traitements.

Les valeurs des différents minerais et de leurs méthodes de traitement ont été appréciées par la mesure des 3 paramètres ci-après, pour chaque pot de culture :

- Production de matière sèche dans les parties aériennes,
- Quantité de phosphore exportée par les parties aériennes,
- Teneur en phosphore des parties aériennes.

Les différents procédés de fabrication conduisent à des engrais ayant des compositions variables en éléments minéraux utiles à la plante autres que le phosphore. Dans ces conditions, en même temps que l'apport d'une dose d'engrais correspondant à 10 mg de phosphore total, ont été effectués, dans certains cas, afin de rendre les essais comparables, des apports supplémentaires de NO_3 ou de SO_4 qui peuvent avoir un effet sur le développement du végétal, donc sur son alimentation phosphatée.

Il a été obtenu 384 résultats d'essais. Ceux-ci sont donnés en annexe D1.

En prenant la moyenne des 4 répétitions correspondant à un traitement pour un phosphate connu, on obtient 96 résultats moyens qui suffisent à donner une représentation valable du résultat d'ensemble obtenu.

Nous avons donc établi les tableaux correspondants.

3.2. TABLEAUX DES RESULTATS

On a porté sur 4 tableaux ci-après, correspondant chacun à l'un des minerais phosphatés étudiés, la valeur moyenne pour chacune des 4 répétitions :

- de la quantité de matière sèche produite par pot (en mg/pot),
- de la quantité de phosphore exportée par pot (en mg/pot),
- de la teneur en phosphore des parties aériennes (en % P reporté à la matière sèche).

Pour chacun des 8 traitements effectués :

- témoin sans phosphore,
- témoin avec addition de 10 mg de P sous forme de phosphate mono-potasssique,
- phosphate naturel,
- mélange de phosphate naturel et d'urée,
- transformation en PNPA 50 %,
- transformation par attaque nitrique,
- transformation par attaque aux gaz nitreux,
- transformation par attaque sulfo-nitrique.

TABLEAU 9.3.2.a

RESULTATS DES ESSAIS AGRONOMIQUES EFFECTUES AVEC LE PHOSPHATE NATUREL DE KODJARI TRAITE PAR LES DIFFERENTS PROCEDES

(Plante d'essai : Ray Grass)

Traitements Paramètres	Témoins sans P	Témoins +10 mg P (KH ₂ PO ₄)	P Nat.	P Nat. + urée	PNPA (50 %)	Attaque nitrique - (Ca(NO ₃) ₂)	Attaque gaz nitreux	Attaque Sulfonitrique
Matière sèche produite en mg/pot	395,30	921,30	398	450	732,30	701,50	720,10	872,50
Phosphore exporté en mg/pot	0,58	3,78	0,60	0,77	2,46	2,84	2,15	4,97
% Phosphore/MS	0,15	0,41	0,15	0,17	0,34	0,41	0,30	0,55

TABLEAU 9.3.2.b.

RESULTATS DES ESSAIS AGRONOMIQUES EFFECTUES AVEC LE PHOSPHATE NATUREL DE TILEMSI TRAITE PAR LES DIFFERENTS PROCEDES

(Plante d'essai : Ray Grass)

Traitements Paramètres	Témoïn sans P	Témoïn +10 mg P (KH ₂ PO ₄)	P Nat.	P Nat. + urée	PNPA (50 %)	Attaque nitrique - (Ca(NO ₃) ₂)	Attaque gaz nitreux	Attaque Sulfonitrique
Matière sèche produite en mg/pot	395,30	921,30	396	473,10	674,50	682,50	733,80	861,30
Phosphore exporté en mg/pot	0,58	3,78	0,60	0,94	2,08	2,40	2,43	4,52
% Phosphore/MS	0,15	0,41	0,15	0,19	0,31	0,35	0,33	0,53

TABLEAU 9.3.2.c.

RESULTATS DES ESSAIS AGRONOMIQUES EFFECTUES AVEC LE PHOSPHATE NATUREL DE IAHOA TRAITE PAR LES DIFFERENTS PROCEDES

(Plante d'essai : Ray Grass)

Traitements Paramètres	Témoin sans P	Témoin +10 mg P (KH ₂ PO ₄)	P Nat.	P Nat. + urée	PNPA (50 %)	Attaque nitrique - (Ca(NO ₃) ₂)	Attaque gaz nitreux	Attaque Sulfonitrique
Matière sèche produite en mg/pot	395,30	921,30	394	505,30	758	691,80	754	819
Phosphore exporté en mg/pot	0,58	3,78	0,61	0,89	2,37	2,69	1,91	3,61
% Phosphore/MS	0,15	0,41	0,15	0,19	0,32	0,39	0,25	0,44

TABLEAU 9.3.2.d.

RESULTATS DES ESSAIS AGRONOMIQUES EFFECTUES AVEC LE PHOSPHATE NATUREL DE PARC DU W TRAITE PAR LES DIFFERENTS PROCEDES

(Plante d'essai : Ray Grass)

Traitements Paramètres	Témoins sans P	Témoins +10 mg P (KH ₂ PO ₄)	P Nat.	P Nat. + urée	PNPA (50 %)	Attaque nitrique - (Ca(NO ₃) ₂)	Attaque gaz nitreux	Attaque Sulfonitrique
Matière sèche produite en mg/pot	395,30	921,30	400	509,70	685,30	734,30	777,1	841,30
Phosphore exporté en mg/pot	0,58	3,78	0,61	0,95	2,23	2,53	2,26	4,69
% Phosphore/MS	0,15	0,41	0,15	0,19	0,33	0,35	0,30	0,56

CHAPITRE 4

COMPARAISON ENTRE LES MINERAIS PHOSPHATES

4. COMPARAISON ENTRE LES MINERAIS PHOSPHATES

Dans ce chapitre les résultats donnés au chapitre 3 sont présentés de manière à permettre une comparaison entre phosphates pour chaque type de traitement :

Tableau 9.4.1. : résultats obtenus avec les minerais phosphatés broyés,

9.4.2. : résultats obtenus avec les minerais phosphatés en mélange avec l'urée,

9.4.3. : résultats obtenus avec les minerais phosphatés attaqués par H_2SO_4 (50 %) (PNPA),

9.4.4. : résultats obtenus avec les minerais phosphatés attaqués par l'acide nitrique avec l'élimination de $Ca - (NO_3)_2$,

9.4.5. : résultats obtenus avec les minerais phosphatés avec attaque par le gaz nitreux,

9.4.6. : résultats obtenus avec les minerais phosphatés avec attaque par un mélange sulfo-nitrique.

Sur chacun de ces tableaux sont reportés les résultats obtenus avec :

- le témoin avec addition de 10 mg de phosphore sous forme de phosphate mono-potassique,
- le témoin sans phosphore.

Les résultats donnés concernent :

- la production moyenne de matière sèche par pot (en mg/pot),
- la quantité moyenne de phosphore exportée par pot (en mg/pot),
- la teneur moyenne en phosphore des matières sèches (en % de phosphore).

TABLEAU 9.4.1.

RESULTATS D'ESSAI AGRONOMIQUE AVEC DES MINERAIS PHOSPHATES BROYES

Echantillons	Matière sèche produite en mg/pot	P exporté en mg/pot	% P / MS
TAHOUA	394	0,61	0,15
Parc du W	400	0,61	0,15
TILEMSI	396	0,60	0,15
KODJARI	398	0,60	0,15
Témoin + 10 mg P(KH_2PO_4)	921,20	3,78	0,41
Témoin sans P	395,30	0,58	0,15

TABLEAU 9.4.2.

RESULTATS D'ESSAI AGRONOMIQUE AVEC DES MINERAIS PHOSPHATES
EN MELANGE AVEC L'UREE

Echantillons	Matière sèche produite en mg/pot	P exporté en mg/pot	% P / MS
TAHOUA	505,30	0,89	0,19
Parc du W	509,70	0,95	0,19
TILEMSI	473,10	0,94	0,19
KODJARI	450	0,77	0,17
Témoin + 10 mg P(KH_2PO_4)	921,20	3,78	0,41
Témoin sans P	395,30	0,58	0,15

TABLEAU 9.4.3.

RESULTATS D'ESSAI AGRONOMIQUE AVEC DES MINERAIS PHOSPHATES
 ATTAQUES PAR H_2SO_4 (50%) (PNPA)

Echantillons	Matière sèche produite en mg/pot	P exporté en mg/pot	% P / MS
TAHOUA	758	2,37	0,32
Parc du W	685,30	2,23	0,33
TILEMSI	674,50	2,08	0,31
KODJARI	732,30	2,46	0,34
Témoin + 10 mg $P(KH_2PO_4)$	921,20	3,78	0,41
Témoin sans P	395,30	0,58	0,15

TABLEAU 9.4.4.

RESULTATS D'ESSAI AGRONOMIQUE AVEC DES MINERAIS PHOSPHATES
 ATTAQUES PAR L'ACIDE NITRIQUE AVEC L'ELIMINATION DE $\text{Ca} - (\text{NO}_3)_2$

Echantillons	Matière sèche produite en mg/pot	P exporté en mg/pot	% P / MS
TAHOUA	691,80	2,69	0,39
Parc du W	734,30	2,53	0,35
TILEMSI	682,50	2,40	0,35
KODJARI	701,50	2,84	0,41
Témoin + 10 mg $\text{P}(\text{KH}_2\text{PO}_4)$	921,20	3,78	0,41
Témoin sans P	395,30	0,58	0,15

TABLEAU 9.4.5.

RESULTATS D'ESSAI AGRONOMIQUE AVEC DES MINERAIS PHOSPHATES
AVEC ATTAQUE GAZ NITREUX

Echantillons	Matière sèche produite en mg/pot	P exporté en mg/pot	% P / MS
TAHOUA	754,00	1,91	0,25
Parc du W	777,10	2,26	0,30
TILEMSI	733,80	2,43	0,33
KODJARI	720,10	2,15	0,30
Témoin + 10 mg P(KH ₂ PO ₄)	921,20	3,78	0,41
Témoin sans P	395,30	0,58	0,15

TABLEAU 9.4.6.

RESULTATS D'ESSAI AGRONOMIQUE AVEC DES MINERAIS PHOSPHATES
AVEC ATTAQUE SULFO-NITRIQUE

Echantillons	Matière sèche produite en mg/pot	P exporté en mg/pot	% P / MS
TAHOUA	819,00	3,61	0,44
Parc du W	841,30	4,69	0,56
TILEMSI	861,30	4,52	0,53
KODJARI	872,50	4,97	0,55
Témoin + 10 mg P(KH_2PO_4)	921,20	3,78	0,41
Témoin sans P	395,30	0,58	0,15

CHAPITRE 5

ANALYSE DES RESULTATS

5. ANALYSE DES RESULTATS

5.1. PRINCIPE DE LA METHODE

Il a été obtenu 384 résultats, en effectuant :

- 8 traitement :

T. : témoin sans phosphore,

T₂ : témoin avec addition de phosphore (phosphate mono potassique)

Tr₁ : phosphate nolent,

Tr₂ : mélange de phosphate naturel et d'urée,

Tr₃ : transformation en PNPA à 50 %, ...

Tr₄ : transformation par attaque nitrique,

Tr₅ : transformation par attaque au gaz nitreux,

Tr₆ : transformation par attaque sulfo-nitrique.

- 3 paramètres relevés :

. quantité de matière sèche produite,

. quantité de phosphore exporté,

. teneur en phosphore dans la plante,

- 4 répétitions :

sur 4 types de minerais.

L'analyse de ces résultats a été effectuée en utilisant un traitement statistique comportant :

- une analyse de variance, par la méthode de Fisher-Snedecor, dans le but de contrôler que les résultats obtenus avec les divers traitements sont significatifs,
- une comparaison entre traitements en utilisant le test de Newman et Keuls pour contrôler si les résultats obtenus avec 2 traitements différents sont ou non significativement différents.

L'annexe D2 donne une indication sur le principe de la méthode utilisée (qui repose sur des considérations théoriques exigeant d'importants développements mathématiques) ainsi que les tableaux de résultats des calculs effectués pour cette analyse statistique.

5.2. RESULTATS

5.2.1. Analyse de la variance

L'examen des tableaux d'analyse de variance montre que dans tous les cas et pour les 3 paramètres envisagés, l'effet observé est supérieur à l'effet théorique que l'on doit obtenir avec une probabilité supérieure à 95 %.

Ceci signifie que, quelque soit le traitement, les résultats obtenus sont significatifs, tant en ce qui concerne la comparaison des différents minerais entre eux que la comparaison, pour un même minerai, des différentes méthodes de préparation d'engrais.

5.2.2. Comparaisons

L'étude statistique comparative des effets par le test de Neuman et Keuls a donné les résultats ci-après.

5.2.2.1. Matière sèche produite

D'une manière générale, on peut regrouper les traitements de la manière suivante :

- Groupe 1 : comprend les 4 minerais : KODJARI, TILEMSI, TAHOUA et Parc du W.
 - * témoin sans phosphore,
 - * phosphate naturel broyé,
 - * mélange phosphate naturel + urée (3/4 - 1/4)

C'est un groupe avec une faible production de matière végétale due au facteur limitant qui est le phosphore.

A l'intérieur de ce groupe, on n'observe pas de différence statistique significative.

Cependant, pour les minerais Parc du W et TAHOUA, le mélange phosphate naturel + urée, donne une légère augmentation de la production de matière végétale.

- Groupe 2 : comprend les minerais TILEMSI et KODJARI :
 - * PNPA (50 %)
 - * Attaque nitrique
 - * Attaque par les gaz nitreux

Ces trois traitements donnent des résultats statistiques semblables pour les minerais TILEMSI et KODJARI. Cependant, l'attaque par les gaz nitreux permet une légère augmentation de la production de la matière végétale par comparaison aux deux autres procédés, mais cette augmentation n'est pas révélée statistiquement.

- Groupe 3 : comprend le minerai TAHOUA :
 - * Attaque par les gaz nitreux
 - * PNPA (50 %)
 - * Attaque sulfo-nitrique.

Pour ce minerai, les trois procédés donnent des résultats qui ne sont pas significativement différents.

- Groupe 4 : comprend Parc du W :
 - * Attaque par les gaz nitreux
 - * Attaque sulfo-nitrique.

Pour ce minerai, les meilleurs résultats sont obtenus, avec ces deux procédés.

L'examen des résultats concernant la production de matière sèche met en évidence les points suivants :

- Faible capacité des phosphates naturels broyés et du mélange phosphate naturel plus urée.
- Les quatre procédés, attaque nitrique, sulfo-nitrique, PNPA (50 %) et attaque aux gaz nitreux donnent des augmentations de production importantes par rapport au témoin sans phosphore. Leur classement varie suivant la nature du minerai, cependant, on peut indiquer que le procédé d'attaque par les gaz nitreux donne les résultats généralement les plus comparables à ceux résultant de l'attaque nitrique (TILEMSI et KODJARI) ou sulfo-nitrique (TAHOUA et Parc du W).

5.2.2.2. Phosphore exporté par pot de culture

Le phosphore exporté permet d'apprécier la disponibilité des phosphates apportés. Mais dans les conditions de nos cultures, vingt jours au total mais seulement dix jours de contact avec le fertilisant, la plante n'en extrait que 2 à 5 mg par pot sur un total de 10 mg.

Le test de Newman et Keuls permet de classer les traitements de la manière suivante :

- Groupe 1 : comprend les 4 minerais :
 - * Témoin sans phosphore
 - * Phosphate naturel broyé
 - * Phosphate naturel + urée (1/4, 3/4).

Pour les minerais TILEMSI et KODJARI, comme nous l'avons déjà signalé à propos de la production de la matière sèche, on constate qu'il n'y a aucun supplément de phosphate assimilé par les cultures, aussi bien avec les phosphates naturels qu'avec le mélange phosphate naturel plus urée.

Mais les minerais TAHOUA et Parc du W forment un groupe différent du témoin sans phosphate et du traitement phosphate naturel broyé, les quantités de phosphates exportées étant légèrement supérieures dans ce dernier cas. Ceci confirme les observations précédentes relatives à la production de matière sèche et permet de considérer que l'apport d'urée se traduit par une légère amélioration de l'assimilabilité des phosphates naturels provenant de TAHOUA et Parc du W.

- Groupe 2 : comprend Parc du W et TILEMSI :
 - * PNPA (50 %)
 - * Attaque nitrique
 - * Attaque par les gaz nitreux.

Les minerais Parc du W et TILEMSI donnent par les trois traitements ci-dessus des résultats statistiquement semblables.

- Groupe 3 : comprend TAHOUA et KODJARI.

Pour TAHOUA et KODJARI, le phosphore exporté par les cultures à partir des traitements PNPA (50 %) et attaque nitrique est légèrement supérieur au traitement attaque par les gaz nitreux.

Ceci diffère des résultats donnés concernant la production de matière sèche.

- Groupe 4 : comprend les 4 minerais :
 - * Témoin avec 18 mg de phosphore (KH_2PO_4)
 - * Attaque sulfo-nitrique.

Pour l'ensemble des minerais, les quantités de phosphore exportées pour ces deux traitements sont sensiblement le double de celles des autres procédés.

Les différences n'apparaissent pas dans l'examen des quantités de matière végétale produites par pot de culture.

5.2.2.3. Taux de phosphore dans la plante

La teneur en phosphore dans la plante est d'autant plus élevée que la plante est bien alimentée en phosphore. Les études statistiques qui ont été faites permettent de regrouper ces traitements de la manière suivante :

- Groupe 1 : comprend les 4 minerais :
 - * Témoin sans phosphore
 - * Phosphate naturel broyé
 - * Phosphate naturel + urée.

Comme l'ont déjà indiqué les études précédentes, il n'y a pas de différences très significatives entre ces traitements sur l'ensemble des minerais, TAHOUA, Parc du W, TILEMSI et KODJARI.

- Groupe 2 : comprend les 4 minerais :
 - * PNPA (50 %)
 - * Attaque nitrique
 - * Attaque par les gaz nitreux.

Pour les 4 minerais, la mesure du taux de phosphore dans les plantes a montré que les échantillons provenant des pots ayant reçu des phosphates "PNPA (50 %)" et "attaque nitrique" (P_2O_5) donne des résultats légèrement supérieurs à ceux mesurés sur 4 échantillons développés sur le produit de l'attaque aux gaz nitreux. On peut penser que la légère augmentation de production de matière végétale avec l'attaque aux gaz nitreux par rapport aux 2 procédés, a entraîné une dilution de phosphore prélevé par la plante, se traduisant alors par une réduction de sa teneur en phosphore.

- Groupe 3 : comprend les 4 minerais.
 - * témoin avec addition de phosphore,
 - * attaque sulfo-nitrique.

Ces deux traitements permettent d'obtenir des formes de phosphates très solubles rapidement prélevés par la plante. Il en résulte alors des teneurs relativement élevées dans le végétal quelque soit le minerai considéré.

5.3. OBSERVATION

En ce qui concerne l'utilisation du mélange phosphate naturel + urée (qui ne donne pas de résultat sensiblement différent du phosphate seul) il convient de remarquer que la durée des essais a été vraisemblablement trop courte pour permettre à l'urée d'avoir une action sensible. En effet, les conditions d'expérimentation étaient telles que la nitrification de l'urée (indispensable à son assimilation par les plantes) a pu ne devenir sensible qu'en fin d'expérience et que, de ce fait, son action a été négligeable.

CHAPITRE 6

ETUDE DES PROCESSUS DE RETROGRADATION

6. ETUDE DES PROCESSUS DE RETROGRADATION

6.1. GENERALITES

La fixation ou rétrogradation de l'anion phosphorique ajouté à un sol, est par définition la transformation d'une forme soluble, en une autre forme pratiquement insoluble et non utilisable par les végétaux.

Les principaux facteurs qui affectent cette fixation sont :

- pH
- oxyhydroxydes de fer et alumine
- argiles
- calcaire
- et la matière organique.

D'après les études qui ont été faites sur ce sujet, on peut déduire que les sols acides ont un degré de fixation du phosphore plus élevé que les sols calcaires, ce qui réduit la disponibilité des ions phosphates vis-à-vis des plantes dans de tels sols.

Les sols acides sont riches en hydroxydes métalliques qui peuvent précipiter le phosphate soluble, en composés insolubles (METZGER 1940 - FRIED et DEAN, 1955 - WEY, 1956). En effet, la forte activité des hydroxydes ferriques et aluminiques favorise la précipitation des ions phosphates (préférentiellement leur absorption (WILD, 1950)).

Un sol calcaire fixe moins fortement le phosphore ajouté, mais cette fixation augmente néanmoins peu à peu au fur et à mesure que s'accroît le temps de contact (KUTTE, 1967).

D'une manière générale, d'après BLANCHET (1959), le pouvoir fixateur des hydroxydes métalliques, dans les sols acides, semblerait plus élevé que dans les sols calcaires. En fait, le calcium joue toujours un rôle important dans la dynamique du phosphore.

Cette dynamique est également contrôlée par la présence des matières humiques (complexe phospho-humique).

De nombreuses recherches portent sur ces liaisons phosphates-matières humiques.

Historiquement, tous les travaux effectués sur la matière organique montrent qu'elle joue un rôle de premier plan dans la fertilité du sol. Il a été très tôt reconnu qu'elle agit sur l'ensemble des propriétés physico-chimiques et biologiques du milieu. Depuis, on s'est rendu compte qu'elle exerce en outre une action favorable sur la dynamique du phosphore au profit des plantes.

Cet effet a été signalé par HESTER et SHIRTON (1937), CHAMINADE (1944, 1946), MIDGLEY et DUNKLEE (1945), DATTA et BAINS (1952), DIEHL (1959), RUSSEL (1961), KUTTE (1965, 1967)...

En absence de tous résultats numériques, les auteurs ont quand même signalé l'importance du phosphore inclus dans le complexe phospho-humique sur son assimilabilité par des végétaux supérieurs.

Ainsi protégé par la matière organique, il reste plus disponible pour les plantes, et son coefficient d'utilisation est supérieur à celui des phosphates minéraux (CHAMINADE 1944, 1946).

Etant donnée l'importance du rôle jouée par la matière organique sur la solubilité des phosphates et sur le ralentissement des mécanismes de sa rétrogradation, il nous a paru indispensable de disposer d'une méthode permettant d'apprécier la rétrogradation.

Pour cela, nous avons suivi les variations des quantités de phosphores extraits par divers réactifs, au cours du temps dans un échantillon de sol préalablement fertilisé (KICHLI) en comparant les résultats obtenus avec le produit résultant de l'attaque au gaz nitreux au résultat obtenu avec le produit résultant de l'attaque sulfo-nitrique considéré comme un des meilleurs produits réalisés avec ces phosphates.

6.2. METHODE ET DISPOSITIF EXPERIMENTAL

La méthode consiste à ajouter 200 ppm de phosphore total (P+) à un échantillon de 200 g de sol. Le suivi de son évolution au cours du temps s'effectue au moyen d'extraction par l'eau et par l'acide citrique 2 % (DYER). Ceci permet de calculer le pourcentage de fixation au cours du temps.

Les échantillons de 200 g de terre tamisée à 2 mm, ont reçu un apport de 200 ppm de phosphore total sous forme d'engrais (1). Chaque échantillon a reçu la quantité d'eau distillée nécessaire pour la porter à une humidité correspondant à la capacité au champ.

Le temps imparti pour cette étude étant limité, les pots utilisés pour cette expérimentation ont subi une alternance de phases d'humectation, et de dessiccation, de manière à accélérer ce processus de vieillissement. Deux témoins sont préparés avec un apport de 200 ppm de phosphore sous forme de KH_2PO_4 :

- Témoin toujours humecté (TH)
- Témoin ayant subi des alternances de dessiccation et d'humectation comparables aux autres échantillons (TH - D).

(1) mais une quantité de P_{205} soluble, différente, fonction de la fraction soluble du P_{205} total de l'engrais.

Le sol utilisé est le même que celui qui a servi à l'étude agronomique. Il provient du BURKINA FASO, est acide avec vraisemblablement un pouvoir fixateur élevé vis-à-vis des phosphates.

Après l'extraction de phosphore (terre sèche) par différents extractants, le dosage se fait au spectrophotomètre d'absorption moléculaire par formation du complexe phosphomolybdate (complexe bleu) à 820 nm.

6.3. RESULTATS

6.3.1. Attaque sulfo-nitrique

A. Extrait à l'eau :

Prélèvement Echantillon	Ier prélèvement (après 10 jours)		IIè prélèvement (après 20 jours)		IIIè prélèvement (après 30 jours)	
	P extrait ppm	% P soluble initial	P extrait ppm	% P soluble initial	P extrait ppm	% P soluble initial
TAHOUA	38	73,9	20,4	39,7	14,4	28
Parc du W	56	68,8	33,6	41,3	14	17,2
TILEMSI	20	74	16,4	60,9	13,2	49
KODJARI	52	77,3	10	14,8	6,4	9,5
TH	78	39	75	37,5	60	30
TH - D	104	52	63	31,5	54	27

B. Extrait à l'acide citrique 2 % (DYER)

Prélèvement Echantillon	Ier prélèvement (après 10 jours)		IIè prélèvement (après 20 jours)		IIIè prélèvement (après 30 jours)	
	P extrait ppm		P extrait ppm		P extrait ppm	
TAHOUA	88,3		32,4		26,5	
Parc du W	88,3		40		12,5	
TILEMSI	87,5		36,4		31,3	
KODJARI	103,80		42		36,4	
TH	85		75		38	
TH - D	90		50		36	

6.3.2. Attaque par les gaz nitreux**A. Extrait à l'eau :**

Prélèvement Echantillon	Ier prélèvement (après 10 jours)		IIè prélèvement (après 20 jours)		IIIè prélèvement (après 30 jours)	
	P extrait ppm	% P soluble initial	P extrait ppm	% P soluble initial	P extrait ppm	% P soluble initial
TAHOUA	28	29,9	17,6	16,9	12	11,6
Parc du W	20	28,4	12,8	18,2	8	11,3
TILEMSI	36	35	18,8	18,3	14	13 6
KODJARI	32	33,8	18	19	11,6	12,3
TH	78	39	75	37,5	60	30
TH - D	104	52	63	31,5	54	27

B. Extrait à l'acide citrique 2 % (DYER)

Prélèvement Echantillon	Ier prélèvement (après 10 jours)		IIè prélèvement (après 20 jours)		IIIè prélèvement (après 30 jours)	
	P extrait ppm		P extrait ppm		P extrait ppm	
TAHOUA	40		25		18,6	
Parc du W	62,5		37		25,6	
TILEMSI	65		36		27,6	
KODJARI	58,8		31,3		24	
TH	85		75		38	
TH - D	90		50		36	

6.3.3. Classement des phosphates

Ces essais permettent un classement des phosphates d'après les quantités de phosphore extraits :

- Par extrait à l'eau :

TILEMSI > KODJARI = TAHOUA > Parc du W

- Par extrait à l'acide citrique 2 % :

TILEMSI > Parc du W $\approx$ KODJARI > TAHOUA

6.3.4. Résultat obtenu par attaque aux gaz nitreux

Les quantités de P_2O_5 soluble introduites étant différentes, les données des tableaux prises isolément n'ont pas de valeur significative.

Il est par contre remarquable que, au cours du temps, la quantité de phosphate soluble diminue moins vite avec les engrais ex gaz nitreux qu'avec les engrais résultant d'attaque sulfo-nitrique pris comme témoins.

Ceci est vrai aussi bien en ce qui concerne le P_2O_5 extractible à l'eau que le P_2O_5 extractible à l'acide citrique 2 %.

Il semble donc que le phosphore de l'engrais fabriqué par attaque aux gaz nitreux soit momentanément protégé de la rétrogradation.

On peut admettre l'hypothèse que cette protection résulte de la fixation du phosphate soluble sur les composés humiques.

Le fait que l'extraction par l'acide citrique 2 % semble avec tous les phosphates donner de meilleurs résultats avec le traitement par les gaz nitreux (qui présente en fonction du temps une diminution du phosphate soluble moins rapide) qu'avec le traitement par attaque sulfo-nitrique, vient en appui de cette hypothèse.

6.4. AUTRES CONSEQUENCES DES PHENOMENES DE RETROGRADATION

On peut également attribuer à des phénomènes de rétrogradation les résultats constatés en culture avec le phosphate du TILEMSI.

Tandis que nos essais en vase de végétation montrent que le PNPA 50 % produit à partir du minerai de TILEMSI a une efficacité supérieure au phosphate naturel, les essais en culture ont conclu à l'inefficacité du PNPA qui s'est révélé inférieure à celle du phosphate naturel.

Ces résultats ne sont pas contradictoires, ils sont dus aux phénomènes de rétrogradation qui se produisent, particulièrement dans le cas du minerai de TILEMSI, en raison de co-teneur importante de ce minerai en fer et alumine (supérieur à 8 %).

Ce phénomène de rétrogradation transforme les phosphates solubles à l'eau en phosphate de fer et d'alumine insoluble, de sorte qu'au total, la quantité de P_2O_5 disponible pour les plantes est plus faible avec le PNPA qu'avec le phosphate.

Ce résultat ne peut apparaître dans nos essais dont la durée est trop faible pour que la rétrogradation ait eu le temps de se manifester.

CHAPITRE 7

CONCLUSION GENERALE

7. CONCLUSION GENERALE

Cette étude avait pour objectif de déterminer d'une part la valeur relative de différents minerais et, d'autre part, d'apporter une appréciation sur la valeur des fertilisants phosphatés obtenus par divers procédés de fabrication.

Le temps dont on a pu disposer pour réaliser ce travail étant très limité, c'est une méthode de test biologique qui a été adoptée pour apprécier la valeur des différents fertilisants. La fiabilité des résultats est bien supérieure à celle que l'on espère obtenir par des réactifs d'extraction chimiques. Cependant, l'extraction étant réalisée pendant un temps relativement court et dans des conditions bien différentes des conditions obtenus en plein champ, les résultats n'ont qu'une valeur relative et méritent d'être précisés par des études plus approfondies, dont, en particulier, des essais in situ. Les résultats obtenus permettent néanmoins de tirer valablement des conclusions intéressantes dont les principales sont les suivantes :

- En ce qui concerne les procédés de fabrication, les phosphates naturels broyés, ainsi que le mélange phosphates naturels + urée ne semblent pas présenter d'intérêt.

Cependant, on constate qu'en plein champ, et à long terme, ces engrais manifestent malgré tout un certain effet positif sur les rendements, en fonction de l'activité de la microflore tellurique et des conditions climatiques.

- Les quatre procédés suivants, attaques sulfuriques partielles, nitrique, sulfo-nitrique et attaque par les gaz nitreux, donnent des résultats intéressants et légèrement différents.

Si l'on essaie d'effectuer un classement pour les différents minerais en prenant en compte les 3 critères d'appréciation utilisés, à savoir : production de matière sèche, exportation de phosphore par la culture et teneur en phosphore du végétal, c'est l'attaque sulfo-nitrique qui donne les meilleurs résultats. Les procédés d'attaques aux gaz nitreux et d'attaque nitrique viennent ensuite sans qu'il soit possible de les départager.

Pour des raisons tenant à la composition des minerais, l'attaque nitrique semble d'un usage difficile. En effet, ces minerais renferment des impuretés qui gênent la séparation des nitrates et des phosphates. De ce fait, le rapport Ca/P des engrais fabriqués par ce procédé reste trop élevé et dans ces conditions, la solubilité du phosphate est inférieure à ce que l'on pouvait espérer du procédé.

Il faut également préciser que les produits résultant du traitement par les gaz nitreux ont été utilisés par l'expérimentation 24 heures seulement après leur fabrication. Ils n'ont pas pu bénéficier du temps de maturation normal qui aurait augmenté la proportion des phosphates facilement assimilables.

Le procédé PNPA donne des résultats, en général, légèrement inférieurs.

Il convient encore de rappeler que d'autres facteurs de la production ne sont pas pris en compte par cette étude, en particulier tous ceux qui font intervenir la microflore tellurique. On peut penser que l'apport de composés humiques ou parahumiques présents dans le produit provenant de l'attaque par les gaz nitreux se manifestera par une action "protectrice" vis-à-vis de la rétrogradation des phosphates en plus de celle qui concerne l'amélioration des propriétés physico-chimiques et biologiques des sols.