

CN 00533
P350
PIE

ISRA

1979/124

I. R. A. T.

C N R A de BAMBEY

MONTPELLIER

ISRA - CNRA
Bibliothèque
BAMBEY

LA FERTILISATION POTASSIQUE DU MIL PENNISETUM ET SES EFFETS

SUR LA FERTILITE D'UN SO; SABLEUX DU SENEGAL

Compte rendu de cinq années d'expérimentation

novembre 1979

Christian PIERI

SOMMAIRE

1 - INTRODUCTION

2 - METHODES d'ETUDE

2.1 - Caractérisation du site expérimental

2.1.1 - Caractéristiques pédoclimatiques générales

2.1.2 - Statut du potassium des sols Dior

2.1.2.1 - Formes et répartition

2.1.2.2 - Origine minéralogique

2.1.2.3 - Dynamique du potassium

2.2 - Dispositif expérimental au champ

2.3 - Echantillonnage

2.3.1 - Sol

2.3.2 - Plante

2.3.3 - Solutions

2.4 - Analyses

3 - REPONSE DU MIL PENNISETUM A LA FUMURE POTASSIQUE

3.1 - Effet de la fumure K sur les rendements en mil

3.1.1 - Réponses annuelles au cours de la période 1973-1977

3.1.2 - Effet moyen de la fumure potassique sur les niveaux et la stabilité des rendements

3.1.3 - Importance comparée de la fumure K dans l'amélioration des rendements du mil

3.2 - Analyse des effets de la fumure potassique sur le mil

3.2.1 - Effet de la fumure K sur la croissance et le développement du mil

3.2.2 - Effet de la fumure K sur les composantes du rendement du mil

3.2.3 - Analyse statistique des relations fumure K x Rendement du mil

3.2.4 - Effet de la fumure K sur les teneurs minérales du mil

3.2.4.1 - Teneurs des grains

3.2.4.2 - Teneurs des pailles

3.2.4.3 - Teneurs des plantules

3.2.4.4 - Analyse statistique des relations entre les teneurs minérales et le rendement

3.3 - Conclusion sur le rôle du potassium dans l'élaboration du rendement du mil

4 - EFFET DE LA FUMURE POTASSIQUE SUR LES CARACTERISTIQUES ET LA FERTILITE DES SOLS DIOR

4.1 - Evolution de quelques caractéristiques du sol

4.1.1 - Evolution des horizons de surface

4.1.1.1 - Variation des teneurs en cations échangeables

4.1.1.2 - Evolution de la capacité d'échange, de la matière organique et du pH

4.1.2 - Evolution relative du profil (0-150 cm) en fonction des fumures

4.2 - Evolution de la fertilité du sol

4.2.1 - Effets de la fumure potassique sur les rendements en arachide

4.2.2 - Evolution de la production de matière sèche au cours de la période 1973-1978

5 - CONCLUSION GENERALE

5.1 - La fertilisation potassique adaptée au système mil-sol sableux

5.2 - Maintien de fertilité et fonctionnement du système mil-sol sableux

ANNEXES

I : Réponse du mil Fennisetum à la fumure potassique (Bambey 1973-1977)

II : Evolution de la taille maximale d'un mil Souna III recevant des doses croissantes de potasse (Bambey 1977)

III : Réponse de l'arachide à la fumure potassique (Bambey 1973-1977)

IV : Calcul des bilans minéraux (3 documents)

I - INTRODUCTION

Le mil est la céréale la plus répandue en Afrique tropicale sèche, semée annuellement sur plus de 15 millions d'hectares (statistiques FAO 1969-1978

Remarquablement adaptée aux conditions de sécheresse, cette culture est surtout localisée entre les isohyètes 700 à 300 mm et sur des sols sableux, dont les autres céréales - sorgho, maïs - s'accommodent moins bien.

Tel est le cas au Sénégal où le mil, bien que cultivé sur toute l'étendue du territoire, est essentiellement concentré dans les régions Nord et Centre Nord du pays. Les sols de ces régions, appelés localement "sol dior", sont très sableux et on peut dire que l'on rencontre là un modèle assez représentatif du système "mil-sol sableux" qui caractérise l'Afrique soudano-sahélienne.

Réalisée dans de bonnes conditions, cette culture est capable de produire par an plus de 11 t/ha de matière sèche (dont 3 t/ha de grain) et donc de mobiliser de fortes quantités d'éléments minéraux, notamment du potassium, cation dominant de la matière sèche produite : une seule culture de mil en exporte 50 à plus de 150 kg K_2O /ha/an, quantité sans commune mesure avec ce qui est apporté dans les fumures généralement recommandées dans ces régions (de l'ordre de 25 kg/ha).

Certes les exportations réelles sont largement fonction du niveau très variable de production atteint par les paysans (300 à 1200 kg/ha de grain) et de l'importance de la restitution des résidus de récolte aux terres de culture.

Cependant, plusieurs auteurs ont montré à partir de résultats expérimentaux, obtenus dans différents pays d'Afrique de l'Ouest, que le bilan minéral potassique sur un ou plusieurs cycles culturaux est toujours négatif (Tourte et al. 1964, Heathcote 1971, Poulain et Arrivets 1971) avec apparition à terme d'une carence en cet élément qui, sauf exception (Bouyer 1973), n'existe normalement pas à la mise en culture de ces sols. La restitution des résidus de récolte est capable de ralentir cette évolution (Pichot et al. 1974 - Jones 1976), mais il y a toujours un risque d'épuisement de ces sols, surtout les plus sableux, qui ont des réserves minérales non seulement faibles mais, en plus, très facilement mobilisables (Wild 1971).

Ce risque est très réel au Sénégal. En effet, depuis plusieurs années, sous l'effet d'opérations d'intensification agricoles, les rendements tendent à s'accroître et il en résulte une augmentation corrélative des prélèvements minéraux dans les sols sans compensation suffisante de fumure minérale (engrais) ou organique (on évalue à moins de 30 % la masse de résidus de cultures restituée aux champs). Mais surtout, la pression démographique entraîne une raréfaction des terres en jachère, particulièrement dans les zones de culture de mil et de l'arachide (moins de 2 % de la superficie des terres agricoles en jachère dans la région Centre Nord) modifiant ainsi profondément l'équilibre écologique traditionnel,

Outre la fumure phospho-azotée, une fertilisation potassique complémentaire doit donc être étudiée.

Mais la mise au point d'une politique de fertilisation potassique du mil pose de nombreux problèmes. En effet, sur un plan économique, il n'est pas réaliste de préconiser de fortes fumures potassiques difficilement rentables, dans le seul but d'équilibrer un bilan minéral fortement déficitaire en absence de restitution organique.

Sur un plan scientifique, il faut arriver à définir quels sont les besoins réels du mil en potassium car on doit s'attendre à ce que le partage de l'engrais K, entre le sol et la plante, se fasse largement au bénéfice du mil qui est capable d'en absorber des quantités considérables. On risque alors de se retrouver dans l'impossibilité matérielle de maintenir les réserves potassiques de ces sols, quelles que soient les doses d'engrais appliquées.

Enfin, il est probable que des apports réguliers et importants d'engrais potassique, c'est à dire dans la grande majorité des cas de chlorure de potassium, puisse induire des modifications profondes des caractéristiques physico-chimiques de sols peu tamponnés comme le sont ceux du Sénégal.

C'est pour cela qu'une experimentation "au champ" a été mise en place en 1973 dans un sol très sableux de ce pays où l'on a réalisé, pendant cinq années, des cultures successives de mil et d'arachide en conditions intensives. Les objectifs poursuivis étaient les suivants :

- définition de La dose d'engrais potassique réellement nécessaire à une production intensive du mil, notamment grâce à la mise en évidence des effets de cette fumure sur les facteurs d'élaboration du rendement de la culture,

- étude des conséquences d'une telle fertilisation, dans l'optique d'un maintien de la fertilité des sols avec ou sans restitution des résidus de récolte, sur les réserves en potassium de ce sol ainsi que celles des autres éléments majeurs (calcium, magnésium) non apportés par la fumure.

II - METHODES D'ETUDE

2.1 - Caractérisation du site expérimental

2.1.1 - Caractéristiques pédoclimatiques générales

L'expérimentation a été réalisée au Centre National de la Recherche Agronomique (CNRA) de BAMBEY, principale station expérimentale de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA).

Bambey est localisé au Centre-Nord du pays, à 120 kilomètres à l'est de Dakar. Son climat est caractéristique de la zone tropicale sèche soudano sahélienne avec, en particulier, une pluviométrie faible (environ 600 mm) répartie irrégulièrement au cours des mois de juillet à octobre.

La période 1973-1977 a été caractérisée par une sécheresse accusée puisque la pluviométrie annuelle n'a pas dépassé 450 mm.

Les sols de la station et de la zone environnante ont été abondamment décrits et étudiés (Faure et Bonfils 1955 - C. Charreau et R. Nicou 1971). Ils appartiennent en majorité au groupe des sols ferrugineux tropicaux peu lessivés, localement appelés "Dior". Ils sont très sableux (2 à 6 % d'argile) sur toute l'épaisseur de leur profil qui se développe sur une grande profondeur (2 à 10 m). Leur teneur en matière organique est très faible (0,3 à 0,4 %), leur capacité d'échange cationique très limitée (CEC = 0,7 à 1,5 me/100g). Ils ont une porosité d'ensemble moyenne (38 à 40 %) et une capacité de stockage en eau utile non négligeable (environ 80 mm par mètre). Dans la mesure où un certain volume d'eau subsiste dans le sol après récolte (octobre), il peut être conservé intact jusqu'à la période de culture suivante (juillet) pour autant que le sol ait été maintenu sans repousses d'herbes pendant toute la durée de la saison sèche. Ce qui est en pratique réalisé par un labour de déchaumage suivant immédiatement la récolte (Nicou R., J-L. Chopart, 1977).

2.1.2 - Statut du potassium des sols Dior

Il convient de rappeler brièvement quelques faits essentiels sur le statut du potassium dans les sols Dior.

2.1.2.1 - Formes et répartition

Les très nombreux résultats d'analyses des sols de Bambey dont on dispose et les résultats complémentaires obtenus en cours d'expérimentation, permettent de considérer, d'un point de vue pratique, que le potassium du sol se répartit en trois fractions distinctes, auxquelles on associe une signification agronomique :

- le potassium échangeable extrait de façon classique à l'acétate d'ammoniaque normal tamponné à pH7, correspond à la forme immédiatement disponible aux plantes,
- le potassium des réserves "mobilisables" obtenu par extraction à l'acide nitrique bouillant, correspondrait au stock de potassium pouvant être mobilisé par des cultures exigeantes en cet élément. On obtient des quantités de potassium comparables en mettant au contact le sol finement broyé durant 30 minutes avec des résines échangeuses type R-H+

- le potassium total, extrait de façon classique par attaque acide fluoro-perchlorique

Le tableau suivant montre l'importance relative de ces trois fractions, dans un sol Dior typique et, à titre de comparaison, dans un sol ferrugineux tropical dérivé des grès ferrugineux du continental terminal représentatif des zones méridionales du Sénégal (climat plus humide et sols un peu plus argileux en surface). On a indiqué, d'autre part, la répartition du potassium entre les différentes fractions granulométriques du sol en % du total

1) Formes de Potassium ::

1

Type de sol	Origine		Kéch	K nitrique	K total
Sol Dior, ferr.trop. [peu lessivé]	Bambey (isohyète 600 mm)	mé/100g	0,09 $\pm$ 0.01	0,56 $\pm$ 0.06	1,85 $\pm$ 0.11
		%	5	30	100
Sol beige, ferr.trop. lessivé	Séfa (isohyète 1200)	mé/100g	0.08 $\pm$ 0.03	0,96 $\pm$ 0.07	2,35 $\pm$ 0,37
		%	3	41	100

2) Répartition % total par fractions granulométriques :

Type de sol	Origine	K total %			
		Argile ($\leq 2 \mu$)	Limon (2-20 μ)	sables t.fins (20-50 μ)	Fraction 750 μ
Sol Dior, ferr.trop. peu lessivé	Bambey	32	35	30	3
Sol beige, ferr.trop. lessivé	Séfa	76	11	10	3

On constate que le potassium échangeable n'est qu'une fraction très faible, 5 %, des réserves totales en cet élément. Ces réserves sont, par contre, en grande partie "mobilisables"; par les cultures : de 30 à 40 % comme l'indique les résultats de l'extraction à l'acide nitrique bouillant.

Cela ne correspond pas cependant à un stock de potassium mobilisable très important : environ 1 t/ha dans les 30 premiers centimètres de sol, (là où se trouve la majorité des racines des plantes). Ainsi théoriquement, quatre ou cinq années de culture intensive de mil seraient à même d'épuiser ce stock*.

Le tableau 1 révèle enfin une particularité des sols Dior qui, à la différence des sols du Sud du pays (moyenne Casamance), contiennent un fort pourcentage (65 %) de leur réserve potassique totale dans leurs fractions granulométriques supérieures à 2 microns.

2.1.2.2 - Nature minéralogique des constituants potassiques

Le fait précédent avait déjà été souligné dans une autre étude (Piéri 1977) portant sur la minéralogie comparée de ces sols et leurs caractéristiques physico-chimiques. On avait pu alors vérifier que les sols Dior contiennent

- de la kaolinite, en majorité, dans les fractions les plus fines (inférieures à 2 microns)

- des micas (ou illite) non seulement dans les fractions fines, mais aussi dans les limons (2 à 50 microns), contrairement au cas du sol de Casamance

- des feldspaths (plagioclases) dans la fraction "limon";, minéraux qui n'apparaissent pas dans le diffractogramme aux rayons X du sol de Casamance.

Ces observations sont cohérentes avec les résultats analytiques du tableau 1 et expliquent certainement l'enrichissement en potassium total des

* Ce calcul sommaire suppose abusivement que les racines profondes n'aient qu'un rôle limité dans l'alimentation minérale du mil et qu'aucun mécanisme de réapprovisionnement des réserves mobilisables en potassium du sol n'intervienne

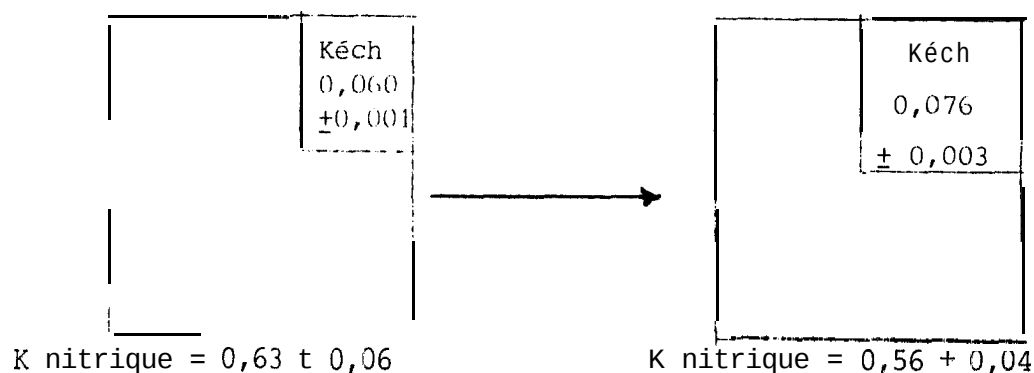
fractions granulométriques de taille inférieure à 50 microns des sols Dior.

2.1.2.3 - Dynamique du potassium dans le sol

Dans une expérimentation parallèle, on a montré que le potassium de ces sols n'était que très faiblement entraîné par lixiviation (Pétri 1979) = 2 à 3 kg/ha/an.

On a cherché, d'autre part, à voir si le potassium de ces sols, ou le potassium-engrais, pouvait être libéré ou rétrogradé à la suite d'une succession de phases de dessiccation et d'humectation, telles qu'elles se produisent en cours de saison de culture.

Dix prises de 100 grammes de terre ont ainsi été soumises à six alternances successives de régime hydrique, au cours d'une période de trois semaines (humidification à la capacité de saturation, puis passage 36 h en étuve ventilée à 60° C). L'effet de ce traitement sur les teneurs en mg/100g du potassium du sol est indiqué dans le schéma ci-dessous :



Il semblerait donc que ces alternances aient pour conséquence d'accroître sensiblement (+ 27 %) la proportion de potassium échangeable du stock des réserves mobilisables, ces dernières restant constantes, voire en légère diminution (rétrogradation de potassium par passage dans le réseau silicate ?).

Il serait évidemment nécessaire de mieux préciser quels sont les facteurs et les conditions qui règlent le transfert du potassium entre les différents "compartiments" du sol dans lesquels il est inclus.

Cependant, en première analyse, on peut considérer que le régime hydrique auquel sont soumis les sols Dior n'a, en valeur absolue, qu'un faible impact sur leur statut potassique.

2.2 - Dispositif expérimental au champ

Le dispositif expérimental principal a été implanté en avril 1973 et est toujours poursuivi. Il s'agit d'un essai à 10 traitements comportant la combinaison factorielle de cinq traitements de fumure minérale et de deux modes de restitution organique.

Les traitements de fumure minérale sont les suivants :

- témoin sans engrais
- fumure NP
- fumure NP + 60 kg/ha de K_2O apportés annuellement sous forme d'engrais KCl
- fumure NP + 90 kg/ha K_2O apportés annuellement sous forme d'engrais KCl
- fumure NP + 120 kg/ha K_2O apportés annuellement sous forme d'engrais KCl

Ils sont combinés avec :

- restitution intégrale des pailles de mil produites sur la parcelle
- sans restitution de ces résidus de récolte

Cet essai comporte 6 répétitions et les parcelles élémentaires ont chacune une surface de $43,2 \text{ m}^2$ (3,6 m x 12 m).

On a cultivé en succession du mil et de l'arachide. De façon à

avoir une réponse chaque année pour chaque culture, l'essai comporte deux séries (en 1973 série 1 : Mil - série 2 : Arachide).

La variété de mil Souma III et la variété d'arachide 57-422 sont utilisées depuis 1973 sans changement.

Les fumures minérales appliquées annuellement sont les suivantes :

- pour le mil : 70 kg/ha de sulfate d'ammoniaque et 100 kg/ha de superphosphate triple, enfouis au semis, en même temps que les doses de KCl
50 kg/ha d'urée au démarrage
50 kg/ha d'urée à la montaison

Les doses d'urée ont été portées à 75 kg/ha à partir de 1976.

- pour l'arachide: 50 kg/ha de sulfate d'ammoniaque et 70 kg/ha de superphosphate triple, enfouis au semis, avec les doses de KCl

En 1973, sur l'ensemble du terrain d'essai, 100 kg/ha de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ avaient été enfouis à l'exception cependant des parcelles sans engrais.

Bien que, de 1973 à 1977, les pluviométries annuelles aient été faibles (cf. annexe 1), les résultats culturels en mil ont été satisfaisants. Cependant, le 29 juillet 1975, le mil a subi une très forte défoliation liée à une attaque subite de criquets et ce fait a modifié la réponse de la plante au potassium, particulièrement cette année là. Les rendements en arachide ont été, par contre, limités par une insuffisance d'alimentation azotée liée vraisemblablement à une mauvaise activité fixatrice de la symbiose rhizobium-légumineuse (Ganry et Wey, 1976).

Les techniques culturales suivies sont celles recommandées classiquement dans la zone = semis en sec du mil par poquets distants de 100 cm x 90 cm et semis mécanique d'arachide sur lignes distantes de 60 cm lors de la première pluie utile (suffisante pour permettre la germination). Le démarrage du mil à 3 plants est toujours exécuté entre le 8ème et le 12ème jour après la

levée. La protection phytosanitaire est réalisée au mieux, sauf accident (criquets). Après chaque récolte, et dans un délai de quelques jours, on procède à un labour aux boeufs avec une charrue réversible à socs sur une profondeur de 18 à 20 cm, avec enfouissement des pailles de mil sur les parcelles comportant ce traitement.

Otre ce dispositif central, une batterie de 9 lysimètres a été installée en 1973 entre les parcelles des séries 1 et 2. Ces lysimètres sont du type ROOSE (1970) sur colonne de sol non remanié. Leur surface circulaire est de $0,5 \text{ m}^2$, leur hauteur 150 cm. Leur bord supérieur se trouve à 30 cm sous la surface du sol, cette disposition permettant d'appliquer à la parcelle lysimétrique des techniques culturales et, notamment, le labour, dans des conditions rigoureusement identiques à celle du dispositif expérimental.

De plus, à partir de 1976, des capteurs de solution du sol en céramique poreuse ont été installés sur les parcelles de la série 1, correspondant aux traitements NP, NPK_{90} et $\text{NPK}_{90} +$ enfouissement de paille de mil. Les résultats obtenus en 1977 avec cette technique ont déjà fait l'objet d'une publication (Pieri 1979).

Enfin un pluviomètre avec collecteur de pluie (en verre brun) a été installé en 1975 en bordure de ce dispositif, à 150 cm de hauteur, de façon à permettre de mesurer les teneurs minérales des eaux de pluie en cours d'hivernage.

2.3 - Echantillonnage

2.3.1 - Sol

Les prélèvements de terre ont tous été réalisés chaque année après récolte, entre le mois d'octobre et le mois de décembre, à l'exception des prélèvements de départ réalisés en avril 1973.

En 1973, 1976 et 1977, les prélèvements de terre à la tarière ont été réalisés sur l'ensemble des 60 parcelles dans les horizons de surface : couche de terre labourée et couche de terre suivante jusqu'à 35 cm.

Un profil complet a été décrit et prélevé en 1973. En 1976 les profils des parcelles, témoin, NPK₃₀ et NPK₉₀ + Paille, ont été systématiquement prélevés à la tarière, sur les 6 répétitions de la série 1 et jusqu'à 150 cm. Pour ce faire, on a réalisé 3 sondages à la tarière par parcelle prélevée, en constituant un échantillon composite par profondeur.

Les résultats d'analyses présentés sont donc toujours la moyenne des valeurs obtenues sur 6 répétitions à l'exception des analyses réalisées en 1974 et 1975 ne portant que sur 3 répétitions.

2.3.2 - Plante

Chaque année les plants de mil sont prélevés le jour de la récolte : au minimum trois poquets par parcelle, soit 15 à 20 talles fructifères qui sont séparés en trois fractions pour l'analyse (tiges + feuilles, rachis et grains).

En 1973, 1975 et 1976, toutes les parcelles ont été échantillonnées, sur les 6 répétitions. En 1974 et 1977, l'échantillonnage a porté sur 3 répétitions.

Des prélèvements complémentaires ont eu lieu au moment du démarrage du mil, à l'initiative de P. Siband, sur tous les traitements en 1975 (6 répétitions) et en 1977 (4 répétitions).

Enfin une étude plus systématique des effets du potassium sur la croissance, le développement et les composantes du rendement du mil a été réalisée par M. B. Koumbraït, stagiaire de l'Ecole Nationale des Cadres Ruraux (ENCR) de Bambey, en 1977.

Cette étude a été réalisée de la façon suivante : toutes les

parcelles de 3 blocs ont été échantillonnées avec observations et mesures individuelles de 11 poquets de mil (33 plats) par parcelle élémentaire.

2.3.3 - Solutions

Le mode de prélèvement de la solution du sol sur le terrain de l'essai à l'aide de capteurs en céramique poreuse est décrit dans un autre document déjà signalé. Le recueil des solutions percolées dans les lysimètres est fait chaque jour pendant toute la période de drainage.

Les prélèvements d'eau de pluie ont été faits régulièrement après chaque pluie, stabilisés au foie, puis stockés au réfrigérateur avant analyse par le laboratoire.

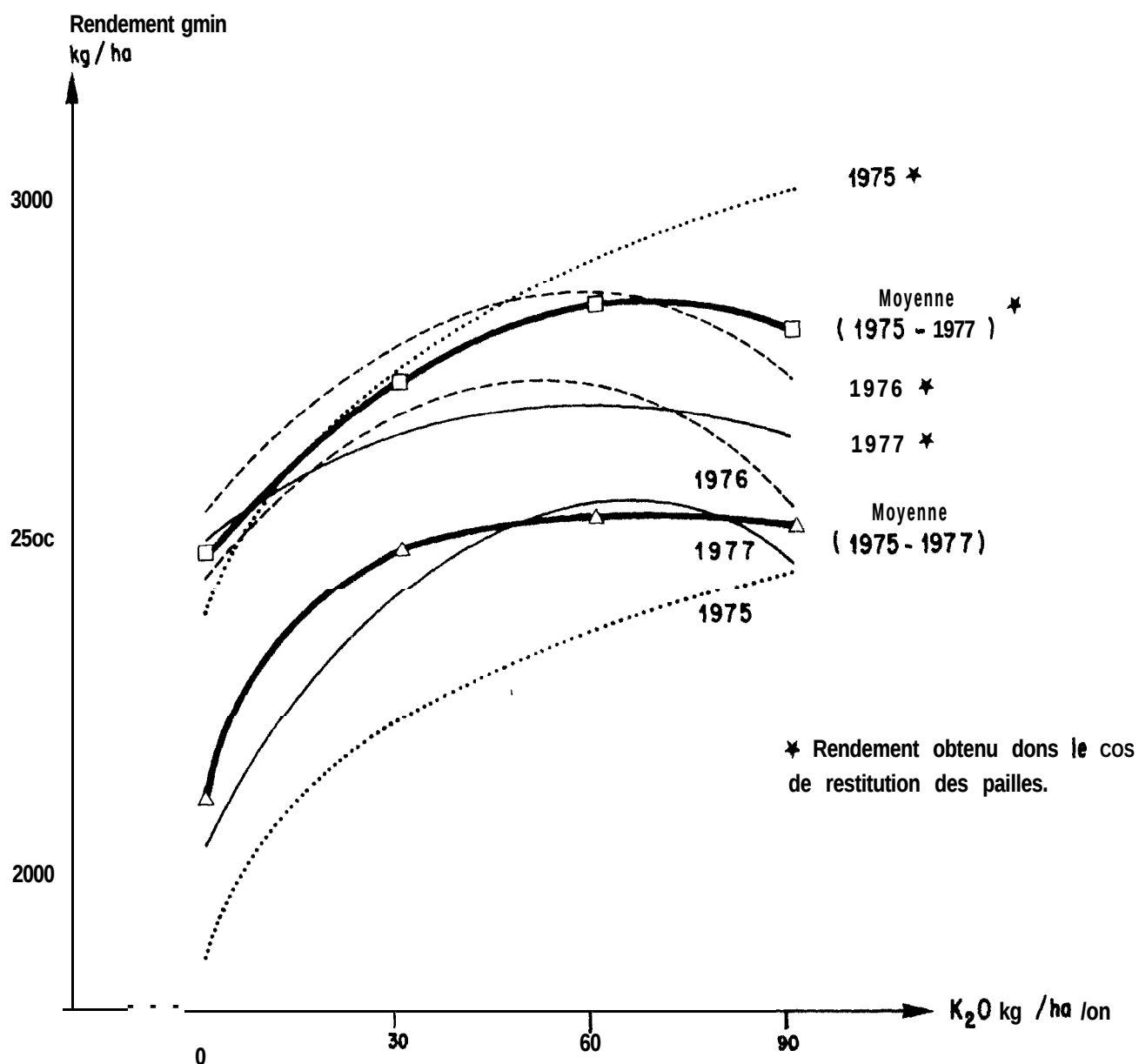
2.4 - Analyses

Toutes les analyses d'échantillons de terre, de plantes et d'eaux ont été exécutées dans le laboratoire central d'analyses de Bambey, avec des méthodes inchangées de 1973 à 1977.

Les dosages de C sont faits à l'aide d'un analyseur de carbone, type LECO. L'azote du sol est obtenu selon la méthode Kjeldahl. Après extraction à l'acétate d'ammoniaque (solution normale pH 7,0), les cations échangeables du sol sont dosés en présence d'un tampon ionique (lantane) par émission et absorption atomique (Perkin Elmer 306). Le pH du sol, dans l'eau et dans une solution normale de KCl (sol/solution = 1/2,5), est mesurée à l'aide d'un pHmètre Radiometer équipé d'électrodes coaxiales.

Après séchage à l'étuve ou dans un four à infra-rouge, les échantillons de plante sont broyés finement, calcinés puis analysés selon la méthode du Comité Inter-Instituts. L'azote est dosé par la méthode Kjeldahl après réduction des nitrates.

Les dosages minéraux dans les eaux et solutions du sol sont réalisés selon les méthodes standard : dosage direct des cations en solution par émission et absorption atomique, détection de NH_4^+ au réactif de Nessler, dosage des carbonates, bicarbonates et chlorure par potentiométrie automatique (Combitreux Metrohm), dosage des sulfates par turbidimétrie et des nitrates par colorimétrie (à l'acide phénoldi sulfonique).



CALCUL des FONCTIONS de PRODUCTION

Série 1

1973 y - 2471 kg/ha

1975 y = 1887 + 70,58√K - 1,18K

* y = 2383 + 72,39√K - 0,78K

1977 y = 2042 + 16,91K - 0,132K²

* y = 2511 + 6,26K - 0,052K²

Série 2.

1974 y = 2512 kg/ha

1976 y = 2453,7 + 11,35K - 0,11K²

* y = 2536,2 + 11,44K - 0,10K²

FIGURE 1 : Courbes de **réponse** du mil au potassium.

III - REPOSE DU MIL PENNISETUM A LA FUMURE POTASSIQUE

Nous décrivons dans ce chapitre quels sont les effets de la fumure potassique successivement sur :

- les rendements en mil 1 : accroissement des rendements, variabilité interannuelle de la réponse
- la croissance, le développement et les composantes du rendement de cette culture
- les teneurs minérales des grains et des pailles de mil

3.1 - Effet de la fumure potassique sur les rendements

3.1.1 - Réponse annuelle au cours de la période (1973-1977)

Les résultats obtenus sont indiqués en annexe 1.

La fumure potassique a une action significative sur la production de matière sèche du mil dès le deuxième cycle cultural de cette plante (en pratique en 3ème année, après la culture d'arachide).

La quantité de paille récoltée croît proportionnellement aux doses d'engrais K appliquées : on enregistre en moyenne un surcroît de 20 à 30 kg/ha de matière sèche produite par unité K_2O apportée.

L'effet sur les rendements en grains est différent. Les courbes de réponse obtenues sont de type quadratique (cf. fig.11 avec un maximum de production obtenu avec des doses comprises entre 30 et 60 kg/ha K_2O . Dans les conditions économiques qui prévalent au Sénégal, ces doses assurent un surcroît de rendement largement rentable pour une culture intensive de mil (Piéri et al. 1978).

La réponse du mil à la fumure potassique a été cependant beaucoup plus accentuée en 1975. La dose optimale calculée se situerait bien au-delà des 90 kg/ha/an de K_2O . Il s'agit, dans ce cas là, d'une situation particulière créée par une importante réduction de la surface foliaire du mil consécutive à

à une brusque attaque de criquets, signalée précédemment. A cette période de l'année (fin juillet), le feuillage est devenu facteur limitant de la production et seules les parcelles recevant une forte fumure potassique, et donc à fort développement végétatif, ont pu atteindre un niveau de rendement satisfaisant.

L'année 1975 marque, d'autre part, le début de la période où il a été possible de mesurer l'effet des restitutions organiques (enfouissement de paille de mil, fin 1973, suivi par une culture d'arachide en 1974) sur les rendements en mil. On a alors constaté, d'une part, un net accroissement de rendement lié à cette pratique (cf. Fig.1:) et, d'autre part, l'absence d'interaction statistiquement significative entre les apports de fumure potassique minérale et de restitutions organiques. Autrement dit, et contrairement à ce que l'on pouvait attendre, l'allure de la réponse du mil à la fumure potassique n'est pas modifiée par la pratique de l'enfouissement des résidus de récolte (il semblerait même valoriser des doses de K_2O supérieures à 30 kg/ha).

3.1.2 - Effet moyen de la fumure potassique sur les niveaux et la stabilité des rendements du mil

Les résultats précédents sont plus clairement apparents à partir de la moyenne des rendements en grain obtenus au cours de la période d'étude (cf. tableaux 1 et 2)..

	<u>Pluie utile en mm</u>	<u>Rendement en kg/ha</u>				
		Témoin	NPK ₀	NPK ₃₀	NPK ₆₀	NPK ₉₀
Moyenne (73-77)	452	1278	2246	2489	2513	2515
Ecart.type	83,8	265	261	188	118	67
C.V.	18,5 %	20,7 %	11,9 %	7,6 %	4,7 %	2,7 %

Tableau 1 : Effet moyen de la fumure potassique sur les rendements en grain du mil en absence de restitution de paille (1973-1977)

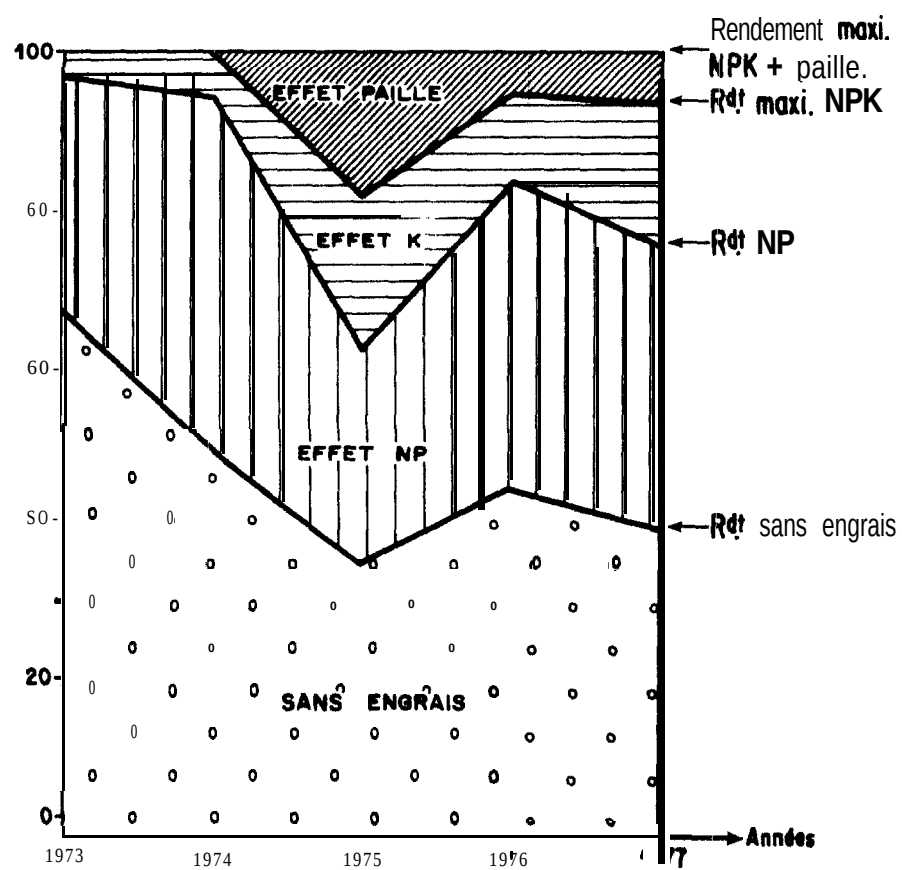


FIGURE 2 : Rendement du mil à la fumure en % du rendement maximum annuel.

Deux conclusions importantes peuvent être tirées de ces tableaux :

- la fumure potassique (dont on apprécie ici l'effet moyen et cumulatif des doses annuelle;; d'engrais K apportées) accroît les rendements en grain du mil pennisetum. Cet effet est très net pour la dose de 30 kg K₂O/ha/an et tend à diminuer à partir de 60 kg/ha de K₂O,

- l'engrais potassique apparaît comme un facteur de stabilisation du rendement. Certes ce type de résultat est souvent observé dans des essais de fertilisation, mais il est tout de même significatif de relever dans le tableau 1 (c'est-à-dire sur une période de 5 années) les points suivants. En absence de fumure, la variabilité des rendements est du même ordre de grandeur que celle de la pluviométrie (C.V. = 20 %). La fumure phospho-azotée réduit de moitié cette variabilité (C.V. = 12 %), mais c'est finalement lorsqu'on applique une fumure NKP que l'on obtient les rendements les plus stables d'une année à l'autre (C.V. ≈ 5 %).

		Rendement en kg/ha			
	Témoin	<u>NPK₀</u>	<u>NPK₃₀</u>	<u>NPK₆₀</u>	<u>NPK₉₀</u>
Sans paille	1133	2117	2480	2518	2509
Avec paille	1202	2483	2713	2834	2789

Tableau 2 : Effet moyen de la fumure potassique sur les rendements en grain du mil, avec et sans restitution de paille (à partir de l'année 1975 à 1977 inclus)

Le tableau 2 montre enfin que la restitution des résidus de récolte :

- ne présente guère d'intérêt, en terme de gain de rendement, en l'absence de fertilisation minérale (moins de 70 kg/ha d'accroissement de rendement utile),

- procure un surcroît moyen de 299 kg/ha/an de rendement en grain (et de 1011 kg/ha/an de rendement en paille) dans le cas d'une culture fertilisée, quelle que soit la dose d'engrais potassique (interaction non significative).

3.1.3 - Importance comparée de l'engrais potassique et de la restitution des résidus de récolte dans l'amélioration des rendements du mil pennisetum

En conclusion à cette première série de résultats, on peut resituer l'importance relative de la fumure potassique parmi les autres pratiques agricoles recommandées au Sénégal pour obtenir une production intensive de mil.

Cette situation est illustrée par les figures 2 et 3.

La figure 2 (réalisée à partir des résultats de l'essai de Bambey) montre en % du rendement le plus fort de l'année (NPK + Paille) quels sont les rendements obtenus, sans engrais, avec une fumure NP privée de potassium, ou bien avec une fumure NPK (en retenant, dans ce cas, la dose K qui a expérimentalement donné le rendement le plus élevé).

On constate que, par comparaison avec l'effet prépondérant de la fumure NP, le rôle de l'engrais potassique et de la restitution des résidus de récolte dans l'amélioration des rendements en mil, est en proportion plus réduit.

Cependant, si la fertilisation est un facteur important d'amélioration du rendement, il ne faut pas oublier que la première condition à réaliser reste l'application de bonnes techniques culturales (et, notamment, le démarrage précoce, le sarclage, le labour, etc...) telles qu'elles sont préconisées par la recherche. Ceci est illustré par la figure 3 où l'on voit que le mil, mis dans de bonnes conditions de culture, atteint un niveau de rendement plus de 2 fois supérieur à celui obtenu en milieu paysan au cours de la même période (d'après les résultats de G. Pochtier et al. 1976).

En résumé, dans l'optique d'une amélioration des rendements en mil :

- la simple application des techniques culturales préconisées par l'ISRA, en absence de toute fumure, assure déjà un doublement des rendements moyens actuels

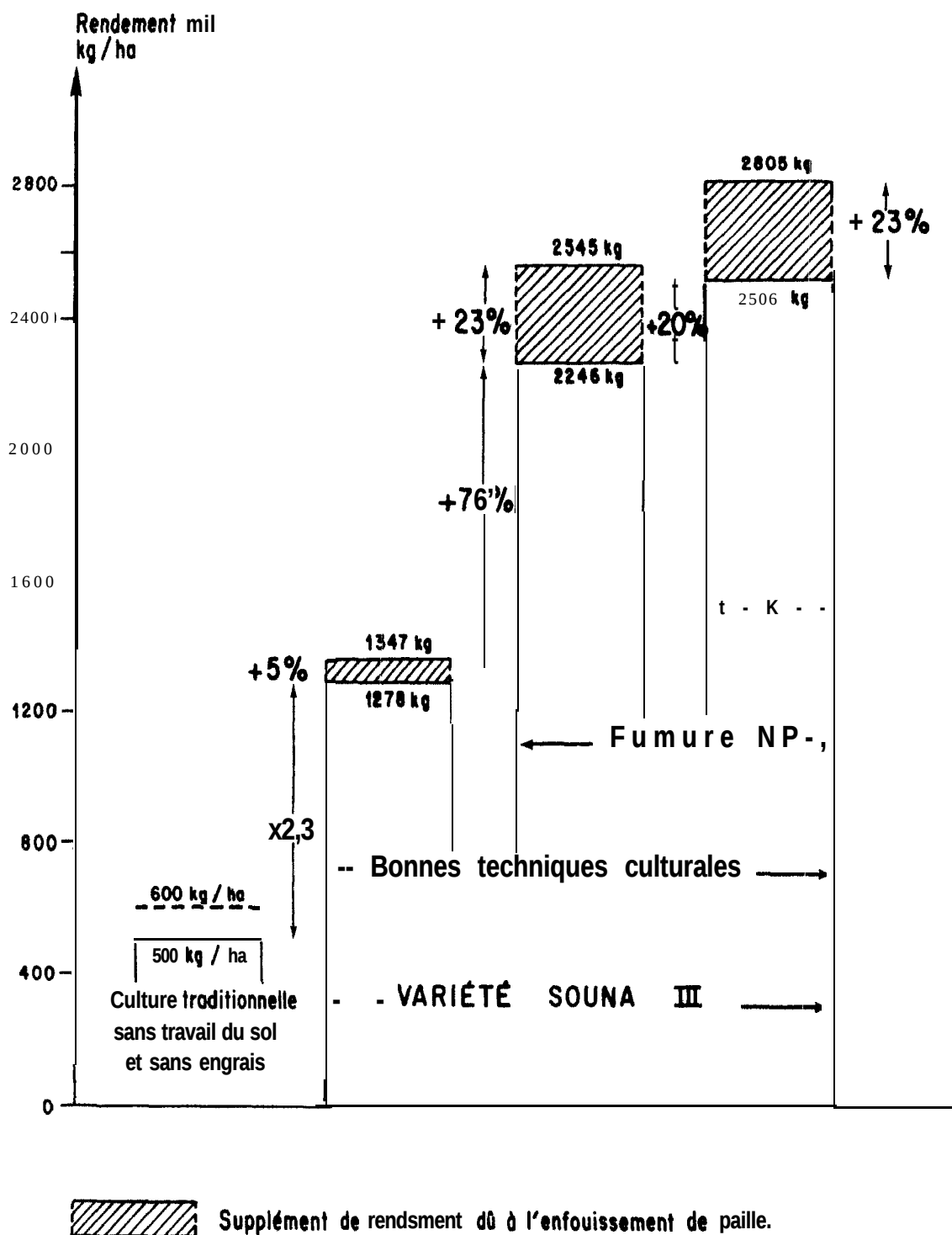


FIGURE 3 : Gamme de rendements en mil obtenus pour **différentes améliorations** techniques.
(Bambey, 1973 - 1977)

- la fumure phospho-azotée permet d'accroître les rendements de **76%** par rapport au seuil précédent (bonnes techniques culturales, variété améliorée)
- la fumure potassique procure alors un surcroît de rendement de 20 % et, en même temps, stabilise la production
- enfin, l'enfouissement des résidus de récolte de mil, qui ne se justifie que dans le cas où il s'agit d'une culture recevant une fumure, apporte encore une nouvelle amélioration de **23 %** des rendements.

Au total, lorsque **tous** les thèmes sont associés, les rendements moyens actuels peuvent être multipliés par cinq. Dans le cas d'une culture de **mil** déjà réalisée dans de bonnes conditions culturales (dates de démariage, sarclage, labour, etc...), la fertilisation accroît les rendements de 119 %, dont **20 %** sont dus à la fumure potassique.

3.2 - Analyse des effets de la fumure potassique sur le mil

Cette analyse repose sur les observations faites depuis le début de l'expérimentation et, tout particulièrement, lors de la dernière année, en **1977**, où il a été possible de mesurer avec plus de précision les différents facteurs d'élaboration du rendement du mil pennisetum.

3.2.1 - Effet de la fumure K sur la croissance et le développement du mil

La fumure potassique accroît considérablement le développement végétatif du mil, comme de nombreuses autres cultures. Cet effet, **bien** connu, peut être, dans le cas du mil, décomposé en deux :

- d'une part, un effet sur l'élongation des talles
- d'autre part, un effet sur la multiplication du nombre de talles produites (capacité de tallage).

Les mesures faites sur la croissance du mil au cours de l'année 1977 sont reproduites en annexe II, et la figure 4 illustre pour les 60 premiers jours l'allure de cette croissance dans trois cas différents = fumure NP sans potassium, avec du potassium ~~engrais~~ avec ou sans restitution de pailles.

La fumure potassique agit incontestablement sur la taille du mil et ceci est obtenu non pas par une prolongation de la vie végétative des plants fertilisés (quelle que soit la fumure, toutes les parcelles de l'essai arrivent à floraison, sans distinction de traitement, entre le 43ème et le 55ème jour), mais par un accroissement de la vitesse de croissance. Cet effet du potassium se manifeste dès la première dose et reste le même dans l'intervalle de fertilisation potassique étudié (0 à 90 kg/ha/an K_2O).

Il est remarquable de noter que cet effet est très précoce puisque, dès le 19ème jour après la levée, 40 % de la différence de taille mesurée à la floraison sont déjà atteints. En outre, visiblement au-delà de 30 kg/ha/an de K_2O , l'effet dose devient négligeable (cf. Fig.4 et tableau 3).

La fumure potassique influence le tallage du mil (cf. tableau 3). Elle joue, d'une part, sur le nombre de talles produites (c'est à dire la "capacité de tallage" que l'on peut apprécier dans ce cas par le nombre de talles primaires apparues au 26ème jour après la levée) mais, aussi, sur la précocité de tallage qui est accrue de 68 % (en se référant au nombre de talles primaires formées au 16ème jour). Pour le tallage, comme pour la croissance, les effets sont les mêmes quelle que soit la dose d'engrais potassique (avec semble-t-il un léger effet dépressif de la dose 90 kg K_2O /ha/an).

Il faut enfin ajouter que, durant la sécheresse qui a sévi en début de cycle cultural 1977 (9 mm de pluie entre le 22 juillet et le 13 août), les parcelles ayant reçu une fumure potassique ont manifesté un bien meilleur comportement (cf. photographie) que celles privées de cet élément, malgré leur développement végétatif (et donc leur surface évaporant-c) beaucoup plus fort.

Avec K



Sans K



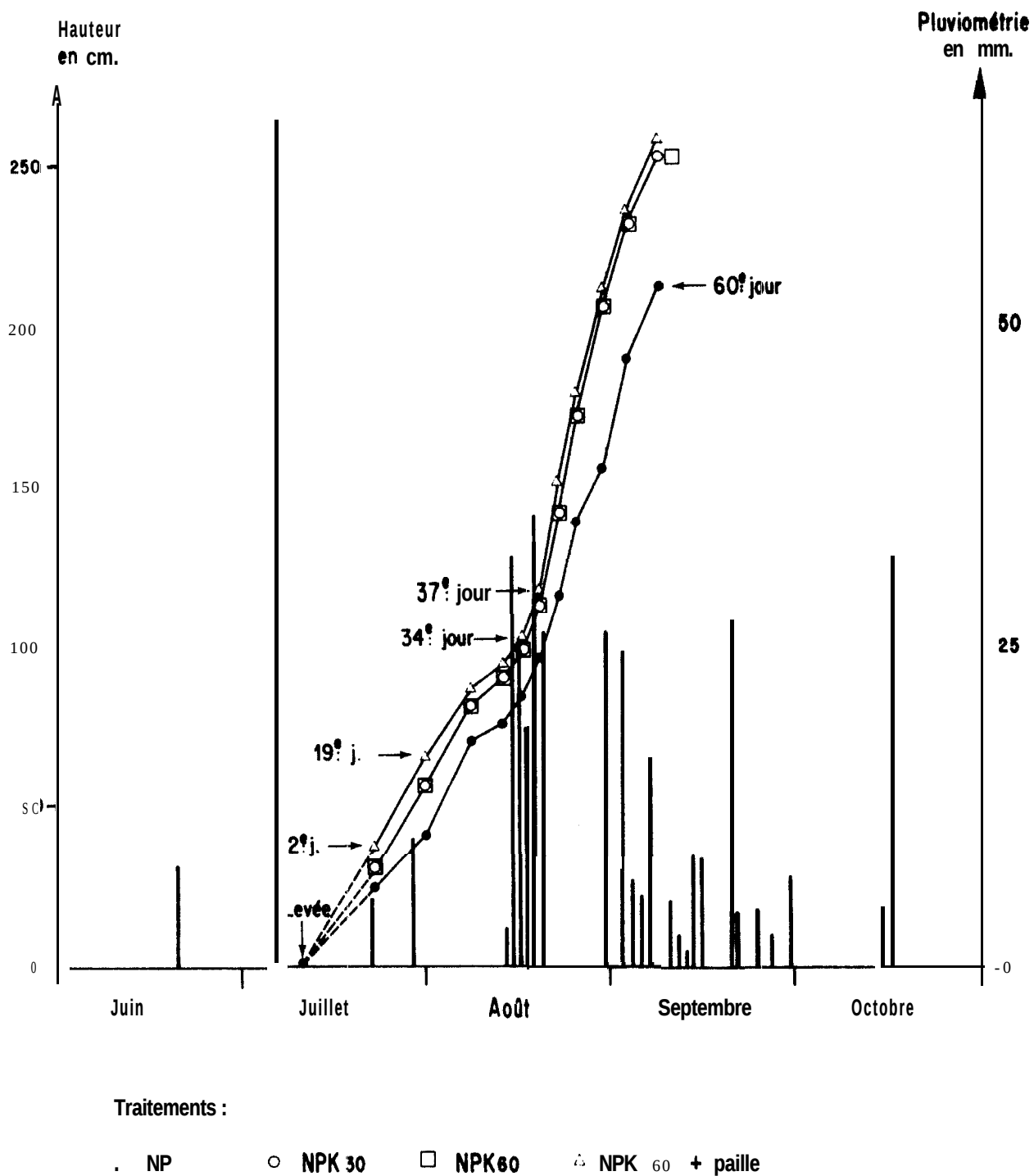


FIGURE 4 : Comparaison des courbes de croissance de mil recevant des fumures **différentes** (Bambey, 1977, **d'après B. KOUMBRAÏT**).

Traitements	Taille hors tout en cm		Nbre talles primaires/poquet		Nbre total; épis/ poquet
	12ème jour (début tallage)	60ème jour (floraison)	16ème jour	26ème jour	
000	21,6	210 ± 6,0	1,74 ± 0,20	20,7 ± 3,4	3,20
NPK ₀	24,6	212 ± 6,8	1,72 ± 0,15	16,6 ± 2,2	5,17
NPK ₃₀	29,9	251 ± 6,6	2,67 ± 0,25	30,7 ± 3,5	5,52
NPK ₆₀	29,9	251 ± 7,6	2,82 ± 0,20	30,4 ± 4,5	5,62
NPK ₉₀	30,9	249 ± 8,1	2,09 ± 0,21	25,6 ± 2,7	5,56
	X = 30,2		X = 2,53		X = 5,54
000	22,1	211 ± 6,9	1,58 ± 0,20	19,5 ± 2,8	3,59
NPK ₀	28,6	250 ± 6,7	2,52 ± 0,25	22,6 ± 5,0	5,98
NPK ₃₀	35,0	253 ± 6,6	3,41 ± 0,28	29,0 ± 3,0	6,25
NPK ₆₀	37,0	258 ± 8,1	3,5 -	30,5 ± 4,0	6,20
+ NPK ₉₀	35,8	240 ± 8,0	2,48 ± 0,21	27,4 ± 3,0	6,02
	X = 35,9		X = 3,15		X = 6,16

Tableau 3 : Effet de la fumure potassique sur quelques caractéristiques végétales du mil (Bambey, 1977)

Par comparaison à ces effets du potassium, l'essai étudié permet aussi de constater que :

- si la fumure N favorise la croissance du mil au départ, elle n'a d'effet ni sur la taille de cette plante à la récolte, ni sur la précocité et la capacité de tallage.

- l'enfouissement des pailles de mil a un effet qui s'additionne à celui du potassium en renforçant encore plus la vigueur du mil au démarrage (taille et précocité de tallage).

- d'une façon générale, le nombre d'épis fertiles paraît fortement lié à la vigueur du mil. appréciée dans les 15 jours suivant la levée

3.2.2 - Effet de la fumure K sur les composantes du rendement du mil

Sur la moyenne des résultats obtenus de 1975 à 1977 et qui est donnée dans le tableau 4, on peut dire que la fumure potassique

- tend à accroître modérément, en comparaison à la fumure NP seule, le nombre d'épis fertiles

- augmente plus sensiblement le poids de grain par épi

Traitements	Nbre épis fertiles/ha	Poids grain g/épi	Rendement battage %
000	37.878	29,9	66,9
NPK ₀	56.733	37,3	69,1
NPK ₃₀	58.099	42,6	68,5
NPK ₆₀	59.086	41,3	70,2
NPK ₉₀	59.970	41,9	68,8
	59.052	41,9	69,2
000	38.898	30,9	68,8
NPK ₀	61.091	40,8	68,6
NPK ₃₀	65.394	41,9	68,6
NPK ₆₀	65.312	44,1	69,7
NPK ₉₀	64.646	43,4	69,2 ₁
	65.117	43,1	69,2

Tableau 4 : Effet de K sur les composantes du rendement du mil (moyenne 1975-1977, Bambey)

Ces deux effets se manifestent avec la même intensité, quelle que soit la dose d'engrais K utilisée dans l'intervalle 30-90 kg/ha/an de K₂O.

L'accroissement du poids de grain par épi, dû à la fumure potassique, ne s'explique pas par une éventuelle amélioration de la fertilité de l'épi, qui conserve un même rendement au battage pour autant qu'une fumure NP soit appliquée à la culture. Les mesures plus détaillées, faites en 1976 et 1977, montrent que cette augmentation de poids est liée, en fait, à un accroissement de la surface de l'épi (longueur en 1976, circonférence en 1977), le poids spécifique du grain de mil restant constant (cf. tableau 5). Une étude encore plus approfondie aurait été nécessaire pour vérifier si cet effet sur la surface de l'épi (qui n'est pas une composante du rendement) se localise sur le nombre d'épillets produits ou sur la prolificité de ceux-ci.

	Traitements	:Longueur des épis en cm		Diamètre médian cm	Poids en g 1000 grains
		<u>1976</u>	1977	<u>1977</u>	<u>1976</u>
+ Paille	000	49,0 a	44,8 a	2,26 a	7,71 a
	NPK ₀	49,4 a	52,2 b	2,45 a	7,57 a
	NPK ₃₀	60,0 b	51,3 b	2,64 b	
	NPK ₆₀	63,6 b	50,7 b	2,60 b	7,48 a
	NPK ₉₀	63,0 b	51,5 b	2,62 b	7,54 a
	000	52,5 a	49,0 ab	2,40 a	7,65 a
	NPK ₀	58,6 b	49,9 ab	2,46 a	7,62 a
	NPK ₃₀	60,4 b	51,2 b	2,55 b	7,77 a
	NPK ₆₀	58,1 b	52,7 b	2,67 b	7,78 a
	NPK ₉₀	60,4 b	53,5 b	2,71 b	7,81 a

Tableau 5 : Effet de la fumure K sur quelques caractéristiques d'épi de mil (Bambey 76-77) -(Les lettres a et b distinguent les valeurs statistiquement différentes)

Par comparaison à ces effets du potassium, on note que la fumure NP seule, agit aussi à deux niveaux sur les composantes du rendement :

- en augmentant considérablement le nombre d'épis fertiles
- en améliorant le poids de grain par épi

Mais, à la différence du potassium, l'effet de la fumure NP semble surtout important dans la phase de post-tallage, permettant à un plus grand nombre de talles tardives de devenir fructifères (33 % d'épis fertiles en plus que sur les parcelles sans engrais).

Le poids de grain par épi est aussi largement accru mais, dans ce cas, la fumure NP agit non seulement sur la taille des épis mais aussi sur leur fertilité, avec un rendement au battage amélioré de 2 % = 69,1 % contre 66,9 % sans engrais.

Sur les cultures de mil avec engrais, la pratique de la restitution des pailles de cette céréale a là aussi pour conséquence d'accroître le nombre d'épis fertiles = environ 6 000 épis de plus par hectare.

On note, enfin, de 1975 à 1977, que les chandelles de mil sont un peu mieux remplies (1,2g de grain en plus par épi). Ce fait n'est pas clairement expliqué par les résultats présentés au tableau 5. En effet l'enfouissement de paille, qui n'améliore pas le rendement au battage, est sans effet sur la taille de l'épi. Il semblerait que ce traitement entraîne un maintien du poids spécifique des grains qui aurait une légère tendance à baisser en présence de fumure minérale seule. Les différences de poids observées (7,53g et 7,75g) ne sont cependant passignificatives au seuil de probabilité de 5 %.

3.2.3 - Analyse statistique des relations fumure K x Rendement du mil

Les relations qui lient le rendement aux différents paramètres mesurés ont été mises en évidence à partir des résultats obtenus en 1977. Une étude de corrélation a été réalisée à cet effet par le Service de Méthodologie de l'IRAT entre les variables suivantes :

- 1 - Rendement parcellaire
- 2 - Nombre de talles au 16ème jour
- 3 - Nombre d'épis fertiles
- 4 - Nombre total d'épis
- 5 - Diamètre médian des épis

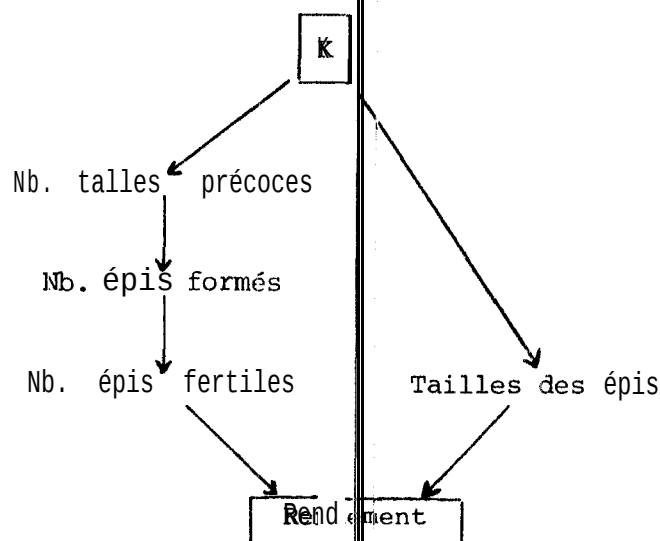
On a tenu compte de l'existence du dispositif expérimental (dont l'effet a été éliminé par calcul) et des traitements. On a donc calculé des coefficients de corrélation :

- intra-traitements, c'est à dire indépendants de la présence des doses variables de potasse,
- inter-traitements, qui font intervenir ces applications croissantes de potasse.

Rendement	Rendement		Coefficients de corrélation	
Nb. talles précoces	0,17 0,65*	Nb. talles	- intra-traitements (en italique) - inter-traitements * significativité à P = 0,01	
Total épi	0,27 0,85*	Total épi		
Epis fertiles	0,27 0,86*	Epis fertiles		
Diam. épi	0,14 0,65*	Diam. épi		

On remarque que la variable rendement se trouve liée significativement aux autres paramètres mesurés uniquement par l'intermédiaire des traitements c'est à dire lorsque l'on prend en considération la variabilité induite par les doses croissantes de potasse.

On aboutit à un schéma explicatif de ce type :



Ceci tend à appuyer les observations faites précédemment :
le potassium améliore les rendements en mil par le biais de l'effet de cet engrais sur la vigueur au démarrage de cette culture, ce qui permet d'obtenir à la récolte un plus grand nombre d'épis fertiles, et dont la taille (ou la prolificité) est accrue.

3.2.4 - Effet de la fumure K sur les teneurs minérales du mil

L'effet de la fumure K sur les teneurs minérales de la matière sèche produite par le mil a été plus particulièrement étudié pour :

- les grains à la récolte
- les pailles à la récolte
- Les jeunes plants à l'époque du démariage

3.2.4.1 - Teneurs des grains

Les concentrations en éléments minéraux dans les grains à la récolte ne sont pas modifiées de façon significative par la fumure potassique. Les valeurs moyennes annuelles, pour les éléments majeurs, sont données dans le tableau 6.

Fumure	N %				P %				K %				Ca %				Mg %			
	0	NPK	0 +paille	NPK +paille	0	NPK	0 +paille	NPK +paille	0	NPK	0 +paille	NPK +paille	0	NPK	0 +paille	NPK +paille	0	NPK	0 +paille	NPK +paille
Année																				
1975	1,59	1,71	1,59	1,75	0,35	0,38	0,35	0,37	0,30	0,30	0,28	0,29	0,01	0,01	0,007	0,007	0,11	0,12	0,12	0,11
1976	2,08	2,11	2,20	2,20	0,32	0,33	0,32	0,33	0,43	0,42	0,42	0,42	0,02	0,02	0,02	0,02	0,12	0,12	0,12	0,12
1977	1,69	1,81	1,67	1,73	0,31	0,37	0,33	0,38	0,42	0,43	0,44	0,43	0,03	0,03	0,02	0,03	0,13	0,13	0,13	0,13
Moyenne	1,79	1,88	1,82	1,89	0,33	0,36	0,34	0,36	0,38	0,38	0,38	0,38	0,02	0,02	0,02	0,02	0,12	0,12	0,12	0,12

Tableau 6 : Teneurs en % de matière sèche dans les grains de mil Souna III à la récolte

(0 = sans engrais, NPK = parcelles avec engrais NP et NPK)

On observe simplement :

- un effet de la fumure NP sur les teneurs en azote et en phosphore des grains
- une variabilité inter-annuelle assez élevée pour le taux d'azote et de potassium des grains
- aucun effet spécifique apparent de l'enfouissement de paille

Les valeurs moyennes générales sont finalement les suivantes :

N = 1,84 % (valeurs extrêmes 1,59-2,20)
P = 0,35 %
K = 0,38 % (valeurs extrêmes 0,28-0,44)
Ca = 0,02 %
Mg = 0,12 % (soit 6 fois plus que de calcium)

En 1974, une analyse minérale plus complète a donné les résultats complémentaires suivants :

Fe = 97 ppm + 4,3
Zn = 29,5 ppm + 1,8
Mn = 24,7 ppm + 1,3 et S = 0,11 % + 0,11
Cu = 7,3 ppm + 1,6
B = 3,0 ppm + 0,2

Ces teneurs ne sont pas modifiées par les fumures appliquées.

3.2.4.2 - Teneurs des pailles

Les valeurs des concentrations d'éléments minéraux majeurs dans les pailles sont indiquées dans l'annexe 4.

D'une façon générale, on constate que la fumure potassique :

- n'affecte pas de façon sensible les taux d'azote (0,54 % $\pm$ 0,08) et les taux de phosphore (0,12 % + 0,05) dans les pailles qui fluctuent cependant d'une année à l'autre

- modifie, par contre, fortement les taux de potassium et, en conséquence, les proportions relatives des cations majeurs dans les pailles, d'autant plus que les taux de calcium et de magnésium tendent à décroître (de 10 à 20 % en valeur relative selon les années).

Les taux de potassium, par contre, augmentent avec les doses d'engrais K appliquées, selon une fonction quadratique, en 1975 (où le mil a subi une forte attaque parasitaire) et linéaire les deux années suivantes :

- en 1976 $\kappa \% \text{ paille} = 1,5 + 0,011 \kappa$ pour K compris entre 0 et 90 kg $\kappa_2\text{O}/\text{ha}$
- en 1977 $\kappa \% \text{ paille} = 1,1 + 0,017 \kappa$ pour K compris entre 0 et 90 kg $\kappa_2\text{O}/\text{ha}$

On remarque, par ailleurs, que :

- la fumure NP, seule, tend à accroître légèrement les teneurs en N et P des pailles et à diminuer, par contre, celles en potassium

- l'enfouissement des résidus de récolte n'a pas d'effet significatif autre que celui d'augmenter le taux de potassium des pailles de la culture de mil

Enfin l'analyse plus complète, faite en 1974, donne les informations suivantes :

Teneur moyenne des pailles en Fe = 187,3 ppm + 31,6

Mn = 156,1 ppm + 23,8

Zn = 13,4 ppm $\pm$ 1,2

CU = 9,6 ppm $\pm$ 2,0

B = 5,2 ppm $\pm$ 0,4

avec, en outre

S = 0,08 % + 0,02

et

SiO_2 = 0,97 % + 0,11

Ces teneurs ne sont pas modifiées par la fumure K, à l'exception de la silice semble-t-il, dont le taux aurait tendance à chuter pour de fortes applications d'engrais potassiques (cf. annexe 1).

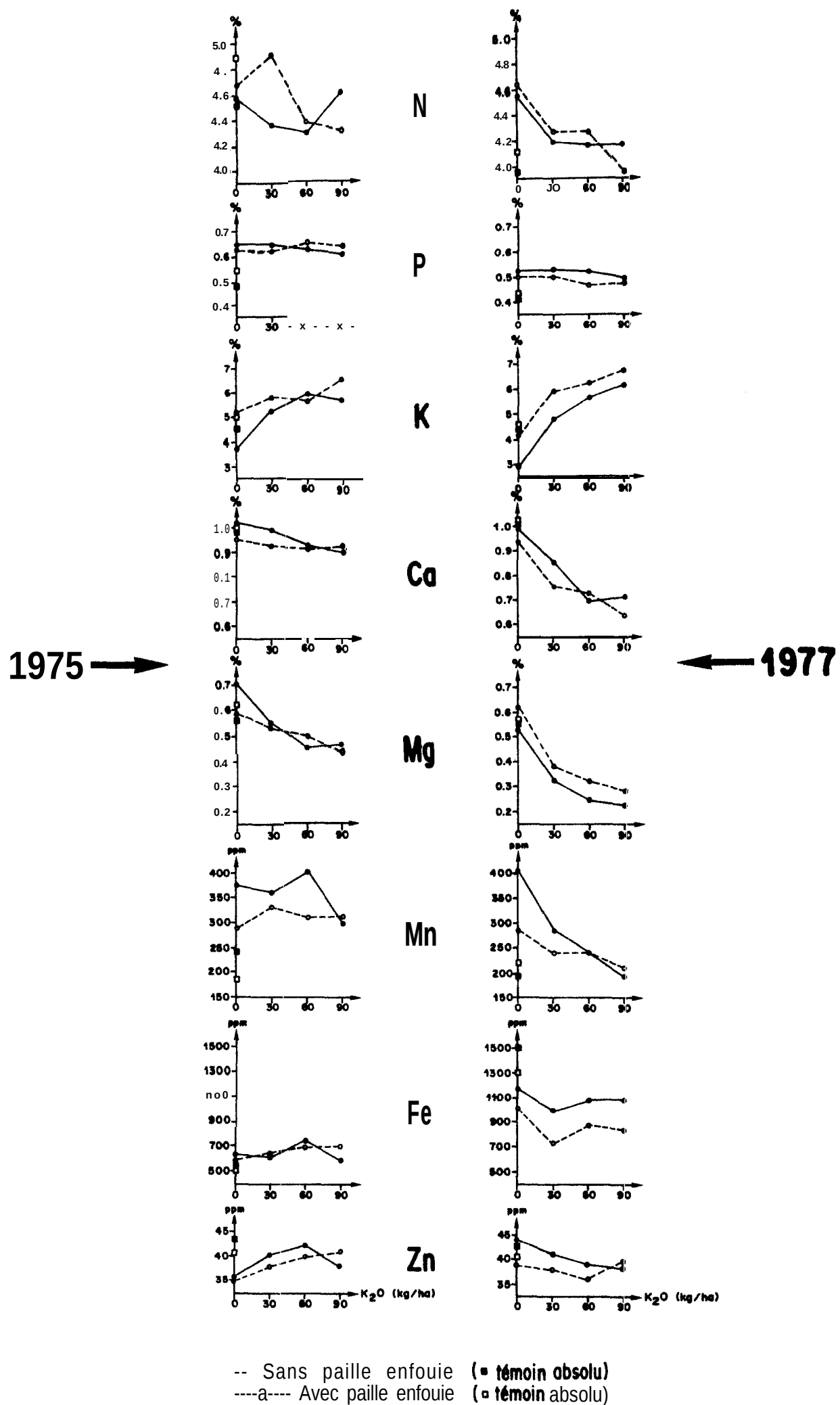


FIGURE 5 : Effet de la fumure potassique sur les teneurs; minérales dans les ieunes Plants de mil (8^e jour après la levée). Bambey, P. **SIBAND.**

Ces résultats permettent d'avoir une appréciation globale des teneurs moyennes des pailles de mil à la récolte mais, outre leur imprécision inhérente aux difficultés d'échantillonnage (plante de taille variable, forte différence de teneurs entre la tige et les feuilles), ils ne donnent que peu d'informations sur les répercussions réelles de la fumure potassique qui, on l'a vu, a une action décisive en début de cycle.

3.2.4.3 - Teneurs dans les jeunes plants de mil au démarrage

Des résultats très comparables ont été obtenus en 1975 et 1977 par P. Siband.

Une dizaine de jours après la levée du mil, la fumure potassique apportée modifie profondément les concentrations minérales des jeunes plantules comme l'illustrent les graphiques de la figure 5 :

- les concentrations en K augmentent (de + 53 % en 1975 et de + 114 % en 1977)
- les taux de Ca et de Mg diminuent très fortement (de - 30 % et - 56 % en 1977)
- par contre, les taux de N, P et Fe restent relativement stables
- les teneurs en oligo éléments suivent une évolution, variable selon les années et non significatives.

On observe, d'autre part, que la fumure NP a, sur les jeunes plantules, les effets que l'on a déjà relevé sur les teneurs minérales dans les pailles : augmentation du taux d'azote et surtout de phosphore, dépression du taux de potassium. Quant à l'effet de l'enfouissement de paille, il se limite apparemment à l'enrichissement en potassium des plantules. il n'a en particulier pas d'effet significatif sur les teneurs en azote et l'influence sur les autres éléments est variable d'une année à l'autre et sans signification statistique.

3.2.4.4 - Analyse statistique des relations teneurs minérales x Rendement du mil

Pour chaque série de résultats annuels, on a vainement cherché à établir une liaison éventuelle entre les rendements en grain obtenus et les teneurs minérales mesurées dans les pailles à la récolte.

Cependant, en regroupant sur un même graphique les moyennes par traitement des rendements et des taux de K dans les pailles mesurés de 1973 à 1977 (cf. Fig.6), il semble que l'on puisse, très grossièrement, définir un seuil en deçà de 1,5 % de K dans les pailles les rendements fléchissent. Ce résultat graphique, très approximatif, n'a aucun fondement statistique mais peut être utile à l'agronome qui suppose l'existence d'une carence potassique dans une culture de mil.

Les informations que l'on tire des teneurs minérales dans les jeunes plantes sont, par contre, plus précises.

On a calculé pour 1977 l'intensité de liaison entre les paramètres mesurés suivant :

- teneurs % dans la plantule en K, Ca, Mg, N, P
- rendement en paille et en grain de mil à la récolte
- teneurs en K éch. en mg/100g mesurées dans l'horizon 0-20cm l'année précédente (en fin de récolte 1976)

Les calculs réalisés par le Service de Méthodologie de l'IRAT ont permis de mesurer les coefficients de corrélation entre ces différents paramètres, après élimination de l'effet dispositif.

Les résultats les plus marquants sont les suivants :

	<u>tous traitements</u>	<u>traitement K</u>
- K % plantule et rendement en grain	$r = 0,499$	$r = 0,626$
- K % plantule et rendement en paille	$r = 0,726$	$r = 0,880$
- K éch. et K % plantule	$r = 0,869$	$r = 0,848$

Les autres combinaisons indiquent des liaisons faibles ou non significatives. La liaison entre la teneur en potassium des plantules et le rendement en grain reste faible (le pourcentage d'explication de l'une des variables par l'autre est seulement de 30 %).

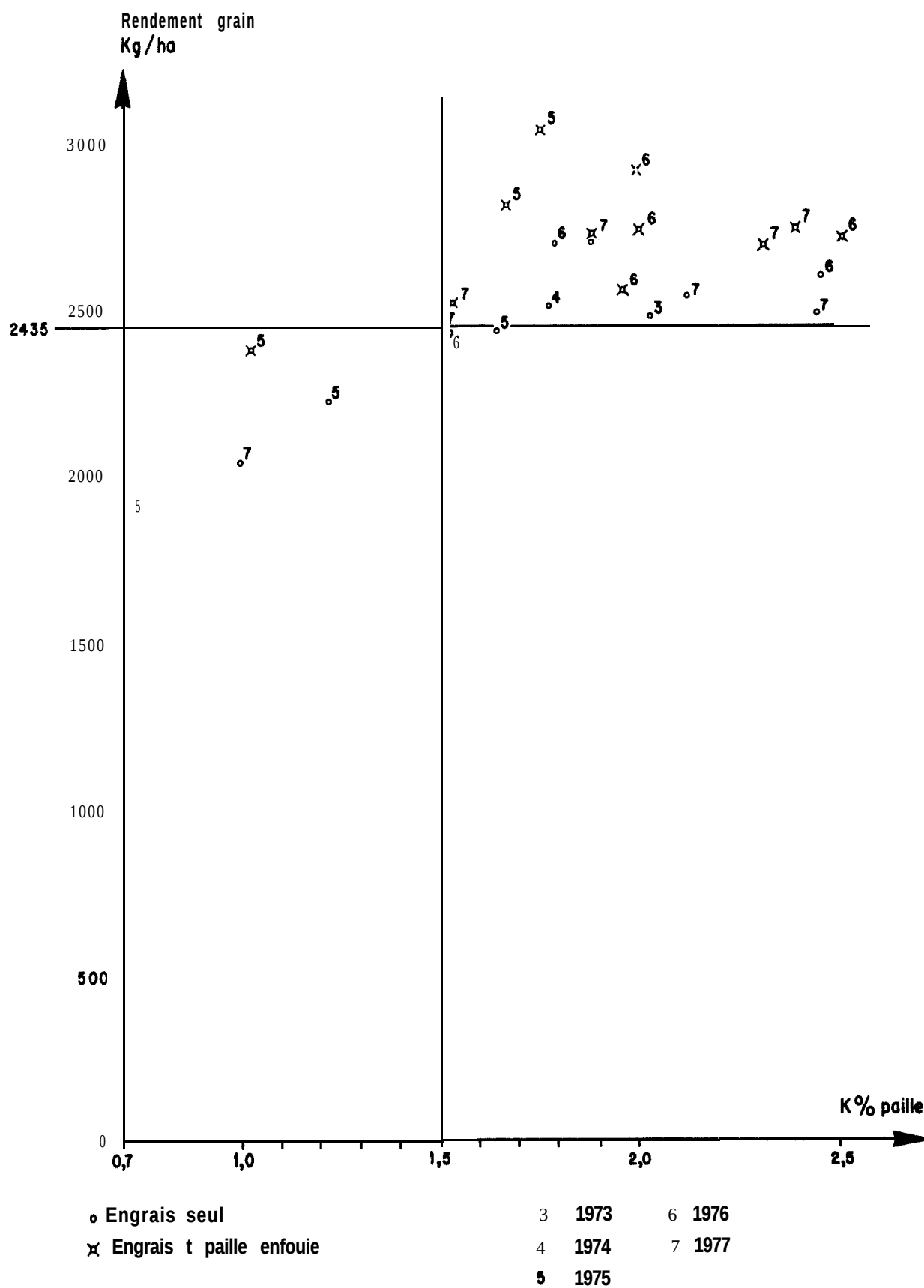


FIGURE 6 : Rendement du mil et toux de potassium dans la paille. (Bambey, 1973-1977).

Par contre, on observe une liaison étroite entre K éch. et K% plantule d'une part, et K% plantule et rendement en paille d'autre part (cf. Fig.7).

On pourrait évidemment s'attendre à de telles relations puisque le rendement en paille est une fonction des doses croissantes de potasse appliquées, comme le sont le taux de K dans les plantules ($K\% = 6,70 - 3,78 \times 10^{-3} x$, avec $x = \text{dose } K_2O$) et, dans une certaine mesure, les teneurs du sol en K échangeable.

Il est cependant intéressant de noter que l'effet de l'enfouissement des résidus de récolte sur le rendement en paille (environ 1 tonne de matière sèche en plus par an et par hectare) est directement corrélé avec l'accroissement de teneur en potassium du mil au stade plantule.

Le dispositif expérimental utilisé ne nous permet pas de préciser plus avant. Tout au plus peut-on constater qu'à la dose de 30 kg K_2O /ha/an, qui semble la plus intéressante, les taux moyens en K dans les plantules sont compris entre 4,5 et 5 %.

Ces teneurs sont semblables à celles mesurées dans les jeunes plantes ne recevant aucun engrais. Autrement dit l'engrais potassique permettrait de maintenir la teneur K % des jeunes plants à un niveau suffisant malgré l'effet de dilution auquel on aurait pu s'attendre (puisque la fumure NPK stimule le développement végétatif).

On peut aussi dire, en se basant sur les résultats d'analyse de 1975 et 1977, que la fumure potassique semble pouvoir être valorisée lorsque les jeunes plants de mil contiennent 4,0 à 4,5 % N dans leurs feuilles (en poids sec) et environ 0,5 % (au moins) de P.

En ce qui concerne plus spécifiquement : l'effet de l'enfouissement des résidus de récolte sur le rendement en grain du mil qui, rappelons-le, est de l'ordre de 300 kg/ha/an quel que soit le niveau de fumure potassique appliqué, il ne peut pas non plus être expliqué par un simple enrichissement des plantules en potassium alors que celui-ci est directement corrélé à l'accroissement de rendement en paille. A en juger par les résultats des tableaux 3 et 4 il semble

bien que la paille enfouie agisse, d'une part comme un engrais potassique qui accroît le nombre de talles précoces et le nombre d'épis fertiles, mais aussi comme un complément de fumure phospho-azotée. En effet de la comparaison des effets des traitements NPK_i et NPK_0 + Paille présentée ci-dessous, il ressort que le nombre d'épis fertiles s'accroît (d'environ 2 000 épis par hectare) là où l'on a enfoui de la paille, sans que ceci soit expliqué par une augmentation préalable du nombre de talles précoces (respectivement 2,53 et 2,52 talles/pied). Or c'est bien ce que l'on observe lorsqu'on applique une fumure phospho-azotée (comparaison des traitements "000" et " NPK_0 ") qui entraîne une très forte augmentation du nombre d'épis fertiles (environ 20 000/ha dans ce cas) sans qu'il y ait eu d'effet sur la précocité du tallage (1,74 et 1,72 talles/pied).

<u>Traitement</u>	Nb. de talles/pied 16 ^{ème} jour	Nb. épis fertiles/ha
000	1,74	38 878
NPK_0	1,72	56 733
NPK_i	2,53	59 052
NPK_0 + Paille	2,52	61 091

La paille enfouie aurait, dans cette hypothèse, l'effet de renforcer ou prolonger l'effet de la fumure NP.

3.3 - Conclusion sur le rôle du potassium dans l'élaboration du rendement de mil Pennisetum

Le potassium, élément /minéral mobilisé en grande quantité par les végétaux, stimule fortement la production de matière sèche végétale, tout particulièrement dans le cas du mil, céréale à fort tallage.

En ce qui concerne le rendement en grain de cette culture, on a constaté qu'il pouvait en moyenne être accru de 20% et maintenu stable d'une année à l'autre grâce à l'emploi de fumure potassique. Dans les conditions de Bambey, et pour un mil à court cycle (Soudan III, 90 jours), une dose de 30 kg/ha sous forme de KCl paraît la plus convenable garantissant des rendements de 2 500 kg de grain à l'hectare.

Associé à une fertilisation de base phospho-azotée, l'engrais potassique permet, en effet, d'accroître de façon modérée mais significative le nombre d'épis fertiles et leur taille (ou plus exactement leur surface).

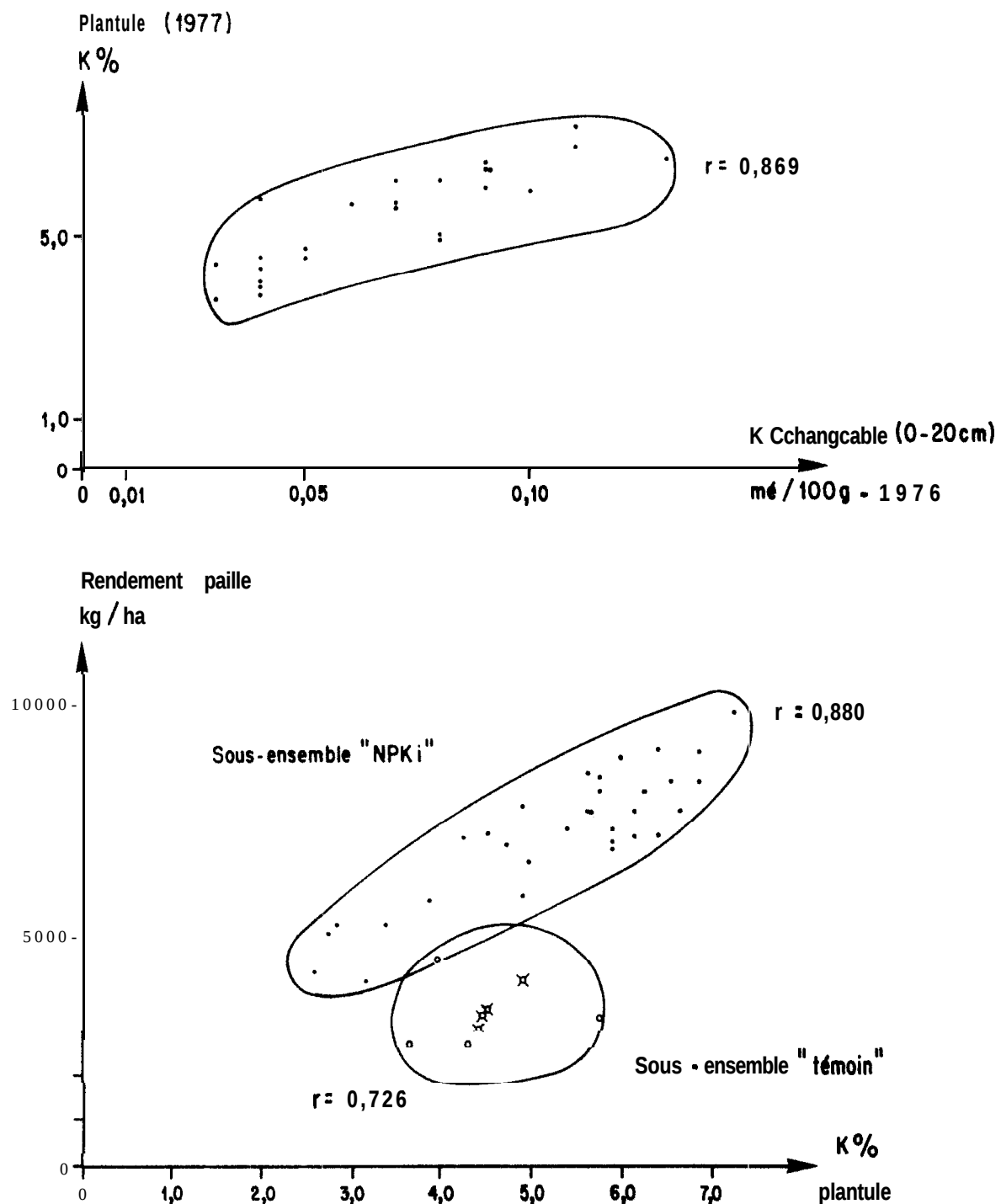


FIGURE 7 : **Corrélations** entre le taux de potassium dans les jeunes plants de mil, le rendement en paille et la teneur en potassium Cchangeable du sol (1977).

Il semble bien que cet effet soit essentiellement lié à une action très précoce du potassium engrais, absorbé dès les premiers jours suivant la levée par les jeunes plantes de mil. Celles-ci en tirent une vigueur accrue au démarrage, avec une vitesse de croissance stimulée au cours de la phase d'installation du végétal dans le sol et une apparition plus précoce de talles qui ont ainsi toutes les chances de devenir fructifères, à l'encontre des talles tardives. Il est probable que c'est à cette précocité d'action que l'on doit aussi l'accroissement de la surface de l'épi, dont la taille est déterminée dans les 20-25 jours suivant la levée.

Nous avons pu, en outre, constater au cours de la période d'expérimentation marquée par de nombreuses périodes de sécheresse, que la fumure potassique tamponne heureusement les aléas climatiques et constitue donc un facteur important de stabilisation des rendements.

Le potassium paraît en effet jouer un rôle essentiel dans l'amélioration de l'efficacité de l'eau disponible. Or, dans cette zone climatique, l'eau est assurément le premier facteur limitant de la production. Il est vraisemblable que cet effet bénéfique du potassium est dû, non seulement à son rôle bien connu dans la régulation stomatique et la transpiration végétale, mais aussi à son influence considérable sur la croissance végétale. Ceci est particulièrement important lors de la phase d'implantation du végétal où, grâce à une croissance racinaire rendue plus vigoureuse, le mil peut rapidement explorer les couches les plus profondes et, en pratique, les plus humides de ces sols sableux.

On explique ainsi mieux que l'effet de la fumure potassique soit essentiellement lié à une action très précoce sur le mil, et qu'une dose faible apparaisse comme largement suffisante, puisque les mobilisations par la culture, au cours des trois premières semaines restent évidemment limitées.

Ceci ne veut évidemment pas dire que l'alimentation potassique du mil dans les phases ultérieures de son développement soit secondaire. Mais, en pratique, dans ces sols profonds contenant du potassium en quantité modérée mais facilement mobilisable, et où la diffusion de l'ion K^+ se fait certainement sans difficulté (texture sableuse, faible capacité d'échange cationique), le mil arrive toujours par la suite à satisfaire ses besoins grâce à son enracinement dense et profond.

Cette expérimentation nous a permis enfin d'apporter quelques informations sur les effets de la fumure phospho-azotée et des enfouissements de paille.

C'est ainsi que, si la fumure NP comme la fumure K favorisent la croissance du mil. notamment lors de la phase d'installation du végétal, elle n'a par contre aucun effet sur la précocité et la capacité de tallage.

En schématisant, et par opposition à la fumure potassique, son rôle semble plus important dans la phase de post-tallage permettant à un plus grand nombre de tiges de devenir fructifères (33 % d'épis en plus). Cette fumure NP accroît aussi très sensiblement le poids de grain par épi, non seulement en augmentant la taille des épis comme le potassium, mais en faisant décroître la stérilité.

Le rôle chimique de la paille enfouie apparaît plus complexe et non totalement élucidé. Elle induit cependant un fort enrichissement en K des jeunes plantes et donc présente les avantages de la fumure potassique (vigueur au démarrage). On a aussi émis l'hypothèse d'un éventuel effet de cette paille enfouie, sur l'alimentation azotée du mil (action comparable à l'engrais NP sur le nombre d'épis fertiles), voire sur le rendement de la transformation protéinique (effet éventuel sur le poids spécifique des grains).

Outre ces effets chimiques on ne doit pas oublier que les enfouissements de résidus de récolte agissent sur les propriétés hydriques des sols et améliorent de ce fait les rendements (cf. NHCOU et CHOPART, 1977).

IV - EFFETS DE LA FUMURE POTASSIQUE SUR L'EVOLUTION DES CARACTERISTIQUES ET DE LA FERTILITE DES SOLS DIOR

Dans ce chapitre on précisera quelle a été l'évolution des caractéristiques physico-chimiques de ce sol Dior cultivé et l'on cherchera à vérifier si cette évolution peut être mise en relation avec une modification mesurable, au cours de la période d'expérimentation, de la fertilité intrinsèque de ce milieu physique. Enfin on calculera, par deux méthodes différentes, le bilan potassique global du système atmosphère-sol-plante après deux successions culturales mil-arachide.

4.1 - Evolution de quelques caractéristiques du sol

Un suivi annuel a été réalisé dans les horizons de surface avec, en plus, un contrôle sur l'ensemble de l'épaisseur du profil exploité par les racines (150 cm).

4.1.1 - Evolution des horizons de surface (1973-1977)

Cette évolution est indiquée dans les figures 8 à 10 et les tableaux 7 et 8.

4.1.1.1 - Variations des teneurs en cations échangeables

Pour ne pas trop surcharger la figure 8, les intervalles de confiance des mesures moyennes de teneurs n'ont pas été reportés sur les graphiques, à l'exception des valeurs de l'année de début d'expérimentation. A titre d'exemple, le tableau 7 indique quelle est la variabilité des teneurs moyennes relevées sur les échantillons de terre prélevés entre 0 et 20 cm en fin d'année 1976 : ceci illustre bien les difficultés d'interprétation que l'on peut avoir avec des valeurs aussi faibles et pour lesquelles l'erreur relative devient facilement très élevée.

Trai- tements	K éch. x $\pm$ ts $\bar{x}$	K mobil. x $\pm$ ts $\bar{x}$	Ca éch. x $\pm$ ts $\bar{x}$
000	13,7 + 2,2 ppm (0,035 + 0,006) mé	160 + 14,4 (0,410 + 0,037)	78,5 + 24,8 (0,392 + 0,124)
NPK ₃₀	19,6 + 6,3 (0,050 $\pm$ 0,017)	156 + 10,4 (0,400 $\pm$ 0,027)	64,1 + 9,8 (0,320 $\pm$ 0,049)
NPK ₉₀	35,2 + 3,7 (0,090 $\pm$ 0,009)	151 + 23,0 (0,385 + 0,059)	47,8 + 17,4 (0,238 + 0,087)
NPK ₃₀ + Paille	27,4 + 5,9 (0,070 + 0,015)	177 + 21,8 (0,453 + 0,056)	67,1 + 18,0 (0,335 $\pm$ 0,09)
NPK ₉₀ + Paille	43,0 + 6,9 (0,110 + 0,018)	194 + 22,9 (0,497 $\pm$ 0,059)	60,1 + 27,3 (0,300 + 0,136)

Tableau 7 : Teneurs en ppm (et en mé/100g) de la terre prélevée en 1976, après arachide, sur l'essai réalisé à Bambey (6 répétitions, horizon 0-20 cm)

Cependant un certain nombre d'informations se dégagent de l'ensemble de ces mesures.

La variation périodique des teneurs, liée à l'alternance des cultures, est le fait le plus évident (montrant bien le danger des interprétations d'évolution de sol suivant les indications obtenues après une ou deux années d'expérimentation).

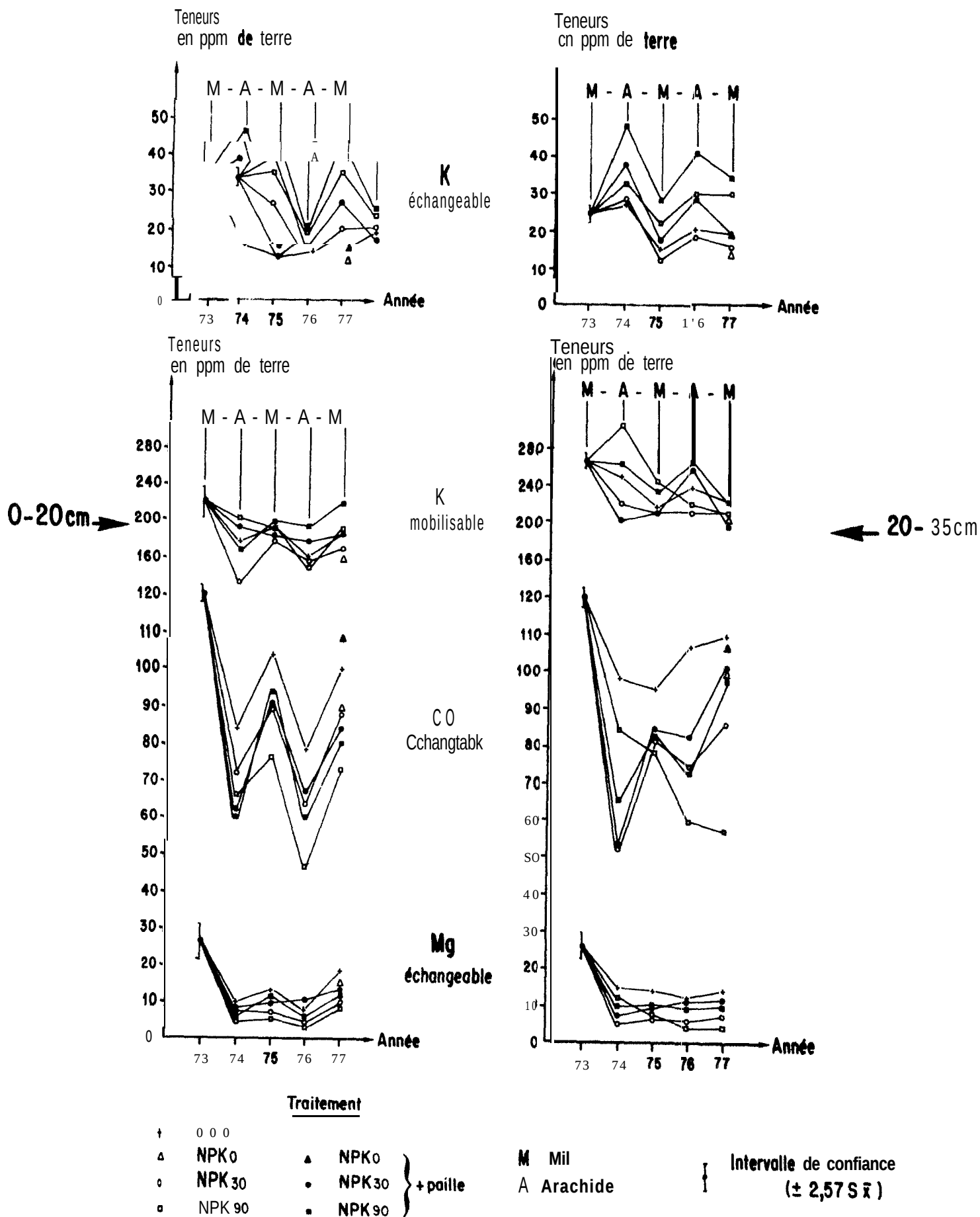


FIGURE 8 : Evolution des teneurs en éléments échangeables et en potassium mobilisable d'un sol Dior (Bamboy, 1973 - 1977).

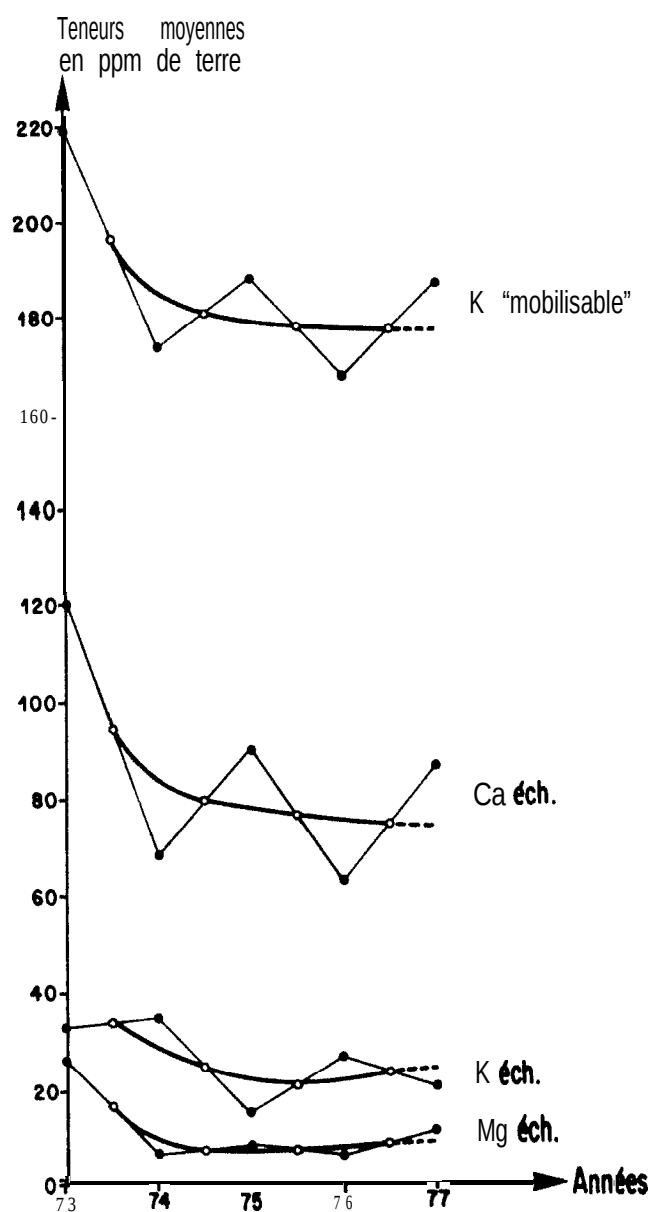
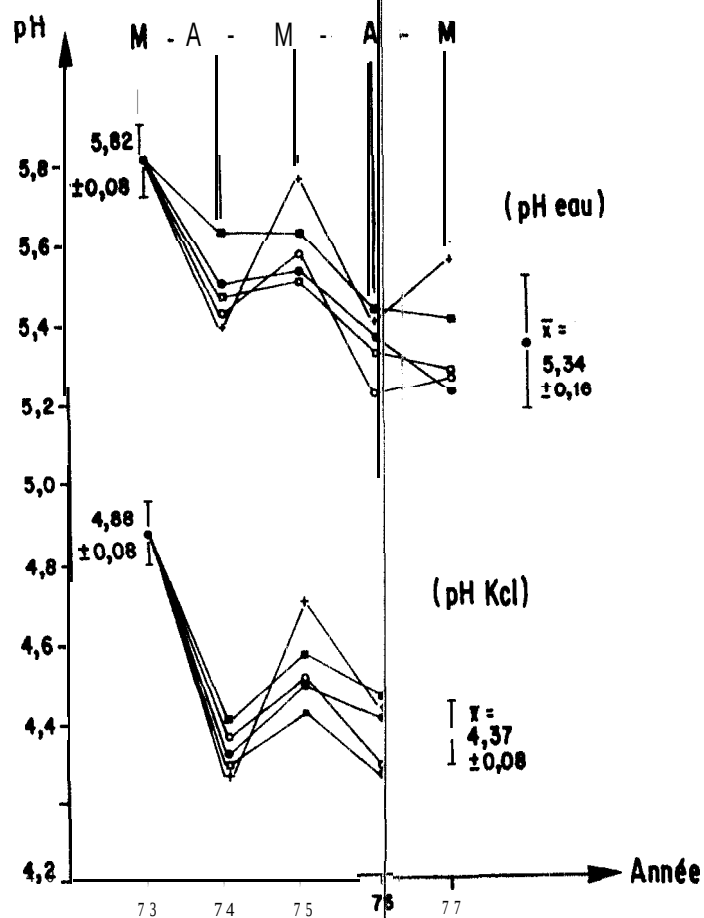
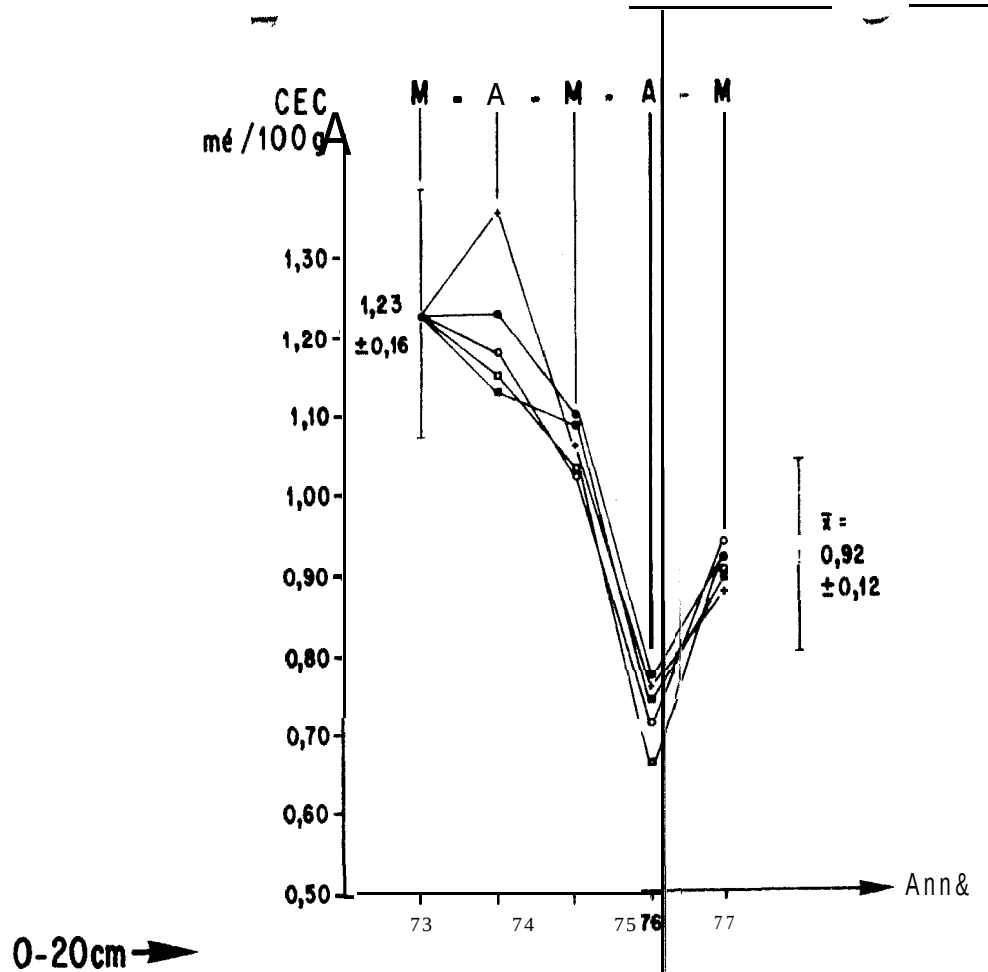


FIGURE 9 : Evolution moyenne des teneurs en **éléments échangeables** et en potassium mobilisable dans les vingt premiers centimètres d'un sol Dior (**Bambey, 1973 - 1977**).



Traitement:

t 000

○ NPK₃₀

◻ NPK₉₀

◼ NPK₃₀ + paille

◼ NPK₉₀ + paille



Intervalle de confiance
($\pm ts\bar{x}$) de la moyenne

FIGURE 10 : Evolution de la **capacité d'échange** cationique (CEC) et du pH (eau et KCl) dans l'horizon de surface (0- 20cm) . **Embey 1973 - 1977.**

Le mil entraîne en effet, d'une part, une forte chute de K échangeable du sol quelles que soient les teneurs initiales et, d'autre part, fait passer à l'état échangeable le calcium du sol (et dans une moindre mesure le magnésium) puisque l'accroissement de teneur mesuré dans les 20 premiers centimètres du sol (15 à 30 ppm, soit 45 à 90 kg/ha de Ca), ne peut être entièrement expliqué par le faible apport de calcium (28,6 kg/ha) lié à l'application des 100 kg/ha de superphosphate triple. Sur Les prélèvements suivant la culture d'arachide l'inverse est observé : augmentation des teneurs en K échangeable, du moins lorsqu'une fumure potassique est appliquée, et surtout chute systématique des teneurs en calcium et en magnésium échangeables dans les 20 premiers centimètres du sol (alors que, par le superphosphate triple, on apporte 20 kg/ha de Ca sur cette culture).

Malgré ces variations rythmiques annuelles, peut-on observer une tendance évolutive des différentes caractéristiques mesurées ? Le nombre d'années comparables (même culture) étant trop faible pour permettre un calcul de tendance, nous avons cherché à pallier cette difficulté par voie graphique : après avoir tracé la ligne brisée réunissant les valeurs annuelles moyennes (tous traitements confondus) des caractéristiques chimiques étudiées (Ca éch., Mg éch., K mobilisable) nous avons tracé la courbe qui réunit les points médians des différents segments de droite de cette ligne brisée. Le résultat est illustré par la figure 9 pour l'horizon de surface (0-20 cm) du sol étudié.

On note tout d'abord une baisse généralisée des teneurs entre la période précédant la mise en culture (avril 1973) et celle correspondant à la récolte de l'année suivante (octobre 1974). On observe ensuite deux types de tendance :

- le maintien des teneurs, : tel est le cas du potassium mobilisable qui se stabilise vers 0,46 mé/100 g et celui du magnésium échangeable (0,08 mé/100 g). On peut associer à ce groupe de paramètres le potassium échangeable dont les teneurs moyennes entre 1974 et 1977 oscillent autour de 0,05 mé/100 g.
- appauvrissement continu en calcium échangeable.

Ces tendances se confirment dans l'horizon suivant (20-35 cm) avec, toutefois, une certaine confusion en ce qui concerne le calcium échangeable et apparemment une évolution vers une diminution des réserves K mobilisables.

En quoi ces tendances générales se trouvent-elles modifiées par les traitements de fumure qu'a subi le sol ?

L'engrais minéral potassique permet de maintenir les teneurs en K échangeable au niveau initial de 1973 : ceci n'est vraiment réalisé que pour la dose K, la plus élevée (90 kg/ha/an), et sans tenir compte des variations annuelles de teneurs. En outre, même en fumure potassique forte, le niveau des réserves mobilisables chute (cf. Fig. 8 et tableau 7).

Par contre cette fumure minérale favorise l'appauvrissement des horizons de surface en calcium échangeable et en magnésium, et ce, d'autant plus que l'on applique des doses de potassium plus élevées (cf. tableau 7). C'est ainsi que dans les parcelles où l'on applique depuis 1973 90 kg/ha/an de K_2O , il y a moins de 5 ppm de Mg échangeable dans l'horizon 20-35 cm, ce qui correspond plutôt à une teneur d'oligo-éléments, alors qu'il s'agit d'un élément majeur indispensable à la croissance végétale. La chute des teneurs en calcium est aussi spectaculaire : 120 ppm en 1973, 60 à 70 ppm en 1977.

La pratique de l'enfouissement de paille, en association à la fumure minérale, freine, sans vraiment l'empêcher, cette évolution défavorable. A doses d'engrais K comparables, on observe le plus souvent que les horizons de surface, où l'incorporation des pailles de mil se fait, ont des teneurs en éléments échangeables plus élevées bien que se situant en-dessous du niveau mesuré dans les parcelles sans fumure (niveau de K échangeable excepté évidemment).

4.1.1.2 - Evolution de la capacité de rétention ionique, de la matière organique et du pH

La figure 10, ci-après, illustre les variations annuelles de la capacité d'échange cationique (CEC) et du pH (eau et KCl) de l'horizon de surface du sol étudié.

Entre 1973 et 1977, on observe une baisse significative de la CEC ainsi que du pH. En ce qui concerne ce dernier, le pH KCl, qui est la mesure

La plus précise, traduit dans son évolution la même variation périodique annuelle que pour les éléments échangeables, les pH les plus bas étant obtenus après culture d'arachide. Ce sont les parcelles ne recevant aucun apport organique qui s'acidifient le plus.

La diminution sensible de La CEC de l'horizon de surface est à mettre en relation avec celle de la matière organique indiquée dans le tableau 8. Les valeurs les plus basses ont été observées en 1976, année où la teneur moyenne en carbone organique était de 1,55 %, les pH particulièrement acides et les teneurs en calcium échangeable très faibles (cf. fig. 8).

Traitements	C o/oo		N o/oo Total	
	$\bar{x} + t s_{\bar{x}}$		$\bar{x} + t s_{\bar{x}}$	
	1973	1977	1973	1977
000	2,09 + 0,13	1,49 + 0,12	0,18 + 0,02	0,13 + 0,02
NPK ₃₀	"	1,65 + 0,26	"	0,14 ± 0,02
NPK ₉₀	"	1,61 + 0,31	"	0,13 ± 0,02
NPK ₃₀ + Paille	"	1,56 + 0,31	"	0,15 ± 0,03
NPK ₉₀ + Paille	"	1,66 + 0,25	"	0,13 ± 0,02
Moyenne	2,09 + 0,13	1,59 ± 0,28	0,18 + 0,02	0,14 + 0,02

Tableau 8 : Variations des teneurs en C o/oo et N o/oo dans l'horizon de surface du sol Dior étudié (Bambey 1973 et 1977).

La comparaison des valeurs moyennes de 1973 et de 1977 donnent les résultats suivants :

CEC mé/100 g	1,23	$\pm 0,16$ (100%)	$0,92 \pm 0,12$ (75%)
C o/oo	2,09	$\pm 0,13$ (100%)	$1,59 \pm 0,28$ (76%)
N o/oo	0,18	$\pm 0,02$ (100%)	$0,14 \pm 0,02$ (75%)

Il y a parallélisme entre les évolutions de la CEC et celle de la matière organique qui, en 5 années, a decru de 25 % du stock initial.

Il est intéressant de faire deux observations, pour autant que la précision de ces mesures le permette. Tout d'abord l'absence totale de fumure n'est pas une pratique favorable au maintien du niveau organique des sols, qui atteint dans ce cas le point le plus bas.

On n'observe pas, d'autre part, un quelconque effet améliorateur des enfouissements de paille de mil (8 à 16 t/ha de matière sèche enfouie en 2 fois) sur la CEC et sur les taux de C o/oo et de N o/oo, contrairement à ce que l'on a relevé sur les éléments échangeables.

En résumé, on observe dans les horizons de surface une chute des teneurs en éléments échangeables, accentuée les premières années, mais qui semble se stabiliser à un niveau très bas par la suite. Cependant, dans le cas du calcium échangeable, la tendance à l'appauvrissement paraît se poursuivre en-deçà du seuil actuel (environ 0,3 mé/100g).

Alors que la fumure minérale NPK permet un certain maintien des teneurs en K échangeable, celle-ci accélère par contre les pertes en calcium.

Enfin l'enfouissement des pailles de mil améliore la situation d'ensemble du point de vue minéral, mais reste cependant sans effet sur la baisse généralisée de la CEC du sol, elle-même corrélative d'une perte, en 5 ans, de 25% du stock initial de matière organique contenue dans les 20 premiers centimètres du profil.

4.1.2 - Evolution relative du profil (0-150 cm) en fonction des fumures.

Il s'est avéré que la comparaison des profils prélevés en 1976 avec le profil d'origine prélevé en 1973, était sujette à caution du fait de la variabilité spatiale élevée des sols Dior, même dans le cadre d'un champ d'expérimentation de taille réduite (1000 m²).

On compare donc seulement (cf. Fig.111 les profils prélevés en 1976 dans les parcelles :

- 1, sans fumure
- 3, avec une fumure annuelle NPK₃₀ (la plus voisine de la fumure vulgarisée actuelle)
- 10, avec une fumure annuelle NPK₉₀ et enfouissement des pailles de mil

On observe que ces trois traitements ont entraîné des modifications importantes dans la répartition des cations échangeables au sein du profil :

- il y a eu accumulation relative de K échangeable dans les 50 premiers centimètres de sol soumis au traitement 10, alors que les profils de sol soumis aux traitements 1 et 3 sont assez voisins dans l'ensemble. Au-delà de 80 cm de profondeur, les profils sont tous semblables
- le calcium et le magnésium, qui tendent à s'accumuler en profondeur, ont été visiblement lixiviés hors du profil exploré lorsque l'on a appliqué une fumure potassique. Ce que nous avons observé pour l'horizon de surface se manifeste sur les 150 premiers centimètres de sol : on assiste à un épuisement progressif en cations alcalins de l'ensemble du profil, tendance cependant freinée lorsque l'on pratique la restitution des résidus de récolte.

La répartition du potassium des réserves mobilisables est donnée dans le tableau 9 ci-après.

II - - -

4. a)

15

mg/100g	%
---------	---

mé/100g 8

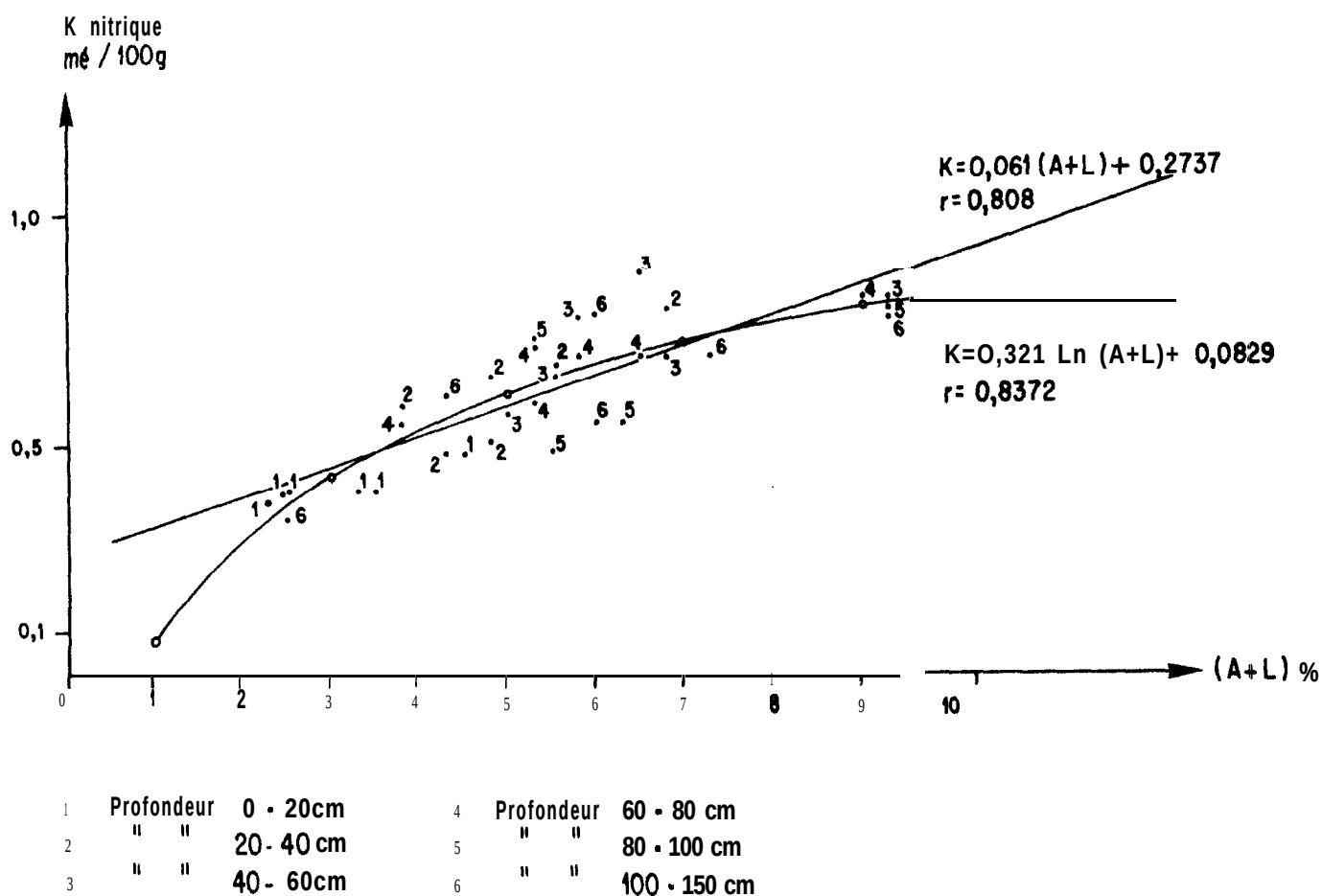


FIGURE 12 : Relation entre le taux d' argile + limon
et les teneurs en potassium mobilisable. (**Bambey**, 1976).

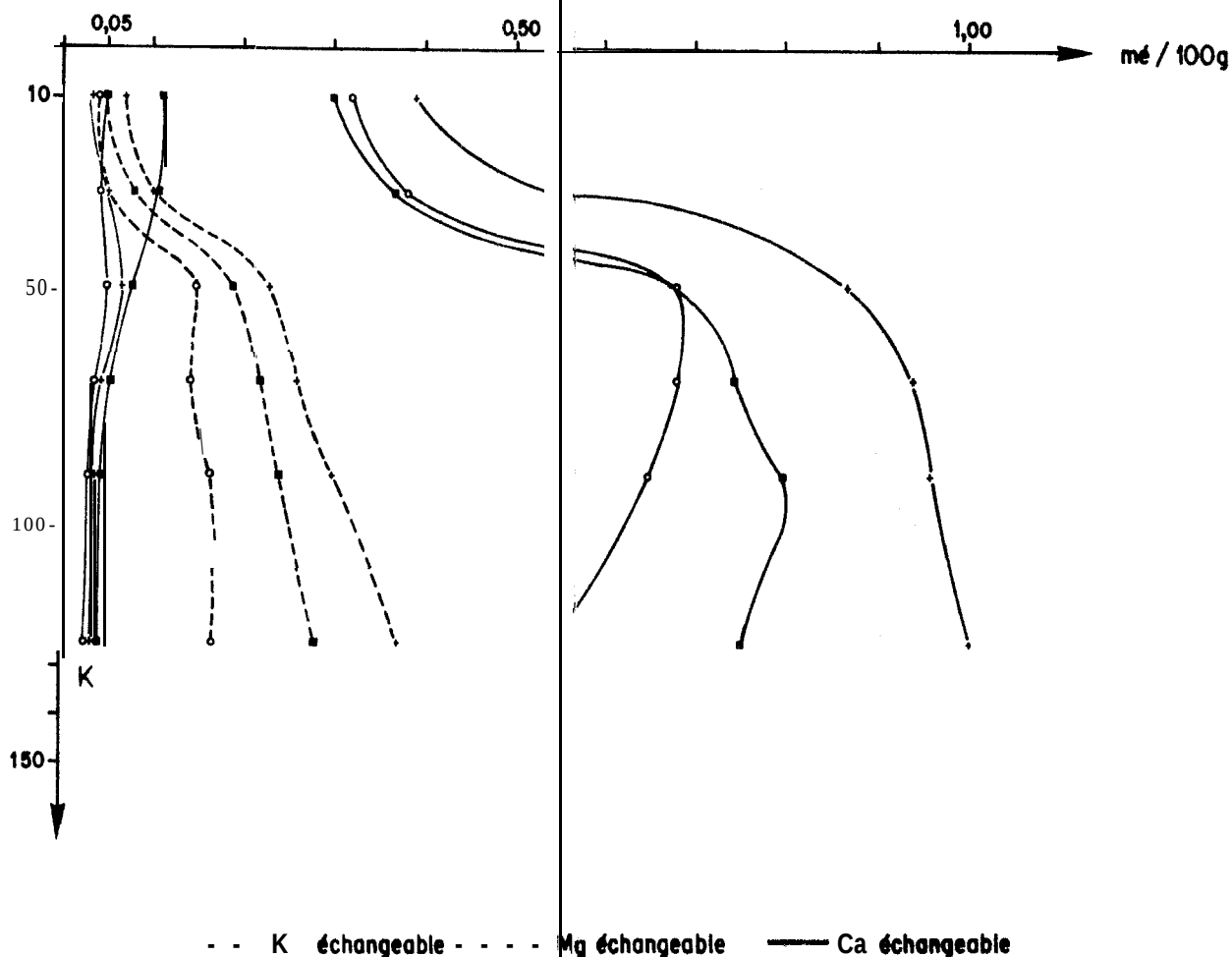


FIGURE 11 : Répartition des cations échangeables dans un profil de sol Dior recevant des fumures différentes (Bimbey, 1976).

A partir de la relation la plus précise (2 - cf.p.43), on peut donc calculer quelles auraient dû être les teneurs en K mobilisable aux différents niveaux des profils 3 et 10 si ces derniers avaient suivi la même évolution, de 73 à 76, que le profil 1 :

<u>Profondeur</u>	<u>Profil 3</u>	<u>Profil 10</u>
0-20 cm	0,402	0,419
20-40 cm	0,551	0,586
40-60 cm	0,624	0,674
60-80 cm	0,593	0,636
80-100cm	0,558	0,606
100-150cm	0,511	0,586

Ce calcul permet de confirmer, après correction de l'influence texturale, l'appauvrissement du profil 3 entre 40 et 80 cm et l'enrichissement du profil 10 entre 0 et 80 cm.

La figure 13, sur laquelle on a porté la courbe réelle et la courbe calculée de répartition des teneurs en K mobilisables dans les profils 3 et 10, illustre ces évolutions.

En résumé l'étude comparative des profils de sol Dior montre que ce dernier a été profondément modifié par les traitements. L'appauvrissement, en cations bivalents relevé en surface, se fait sentir sur toute l'étendue du profil. La répartition du potassium est elle aussi modifiée mais seulement dans les 90 premiers centimètres, les profils étant très comparables au-delà. Il apparaît qu'avec une fumure NPK₃₀, le sol, peu modifié en surface, s'appauvrit nettement entre 40 et 80 cm : ce phénomène est moins visible sur les teneurs en K échangeable que sur celles des réserves potassiques facilement mobilisables qui accusent une forte baisse. Par contre l'application annuelle de 90 kg/ha de K₂O, avec enfouissement des résidus de récolte de mil, relève fortement les teneurs en K échangeable et mobilisable dans les 90 premiers centimètres.

4.2 - Evolution de la fertilité

Les différentes fumures minérales et organiques appliquées au sol Dior durant ces cinq années, en ont modifié les caractéristiques physico-

chimiques, non seulement dans les horizons de surface mais aussi en profondeur, du moins pour certains éléments.

Peut-on considérer que la fertilité de ce sol a aussi évolué sous l'effet des traitements qu'il a subis ?

La notion même de fertilité est difficile à saisir et nous la limiterons dans ce cas à l'aptitude d'un sol à produire de la matière sèche végétale, dans des conditions climatiques données.

Nous avons donc considéré la matière sèche totale produite sur le terrain de l'essai de 1973 à 1977, par le mil d'une part, et l'arachide d'autre part (culture pour laquelle nous disposons en plus des résultats de 1978).

Nous donnerons donc préalablement un bref aperçu des effets de la fumure potassique sur les rendements en arachide.

4.2.1 - Effets de la fumure potassique sur les rendements en arachide

Les résultats obtenus sont présentés dans l'annexe 3.

Ils peuvent être brièvement résumés de la façon suivante : la fumure potassique accroît en général de façon linéaire, dans l'intervalle 0 à 90 kg/ha de K_2O , la production de fanes d'arachide qui est, rappelons-le, une production fourragère essentielle pour le bétail au Sénégal.

En ce qui concerne la production de gousses, les rendements obtenus ont été, dans l'ensemble, faibles. Bien que la fumure potassique n'ait pas eu d'effet statistiquement démontré sur ces rendements, on observe qu'en moyenne sur cinq ans une dose de 30 kg/ha de K_2O associée à une fumure NP apporte 190 kg/ha de gousses en plus (et 260 kg/ha de fanes :) par rapport à une culture faite sans engrais. Par contre, la fumure NP seule est sans intérêt (cf. tableau 10).

Aux prix actuels pratiqués sur le marché (42,5 F CFA le kilo d'arachide et 17 F CFA le kilo d'engrais 8-18-27), cette fumure NPK_{30} est rentable et le reste tant que le coût du kilo d'engrais est inférieur à 54 F CFA : (ou 27 F CFA si l'on veut maintenir un rapport entre la plus value monétaire due à l'accroissement de rendement et le coût de l'engrais supérieur à 2).

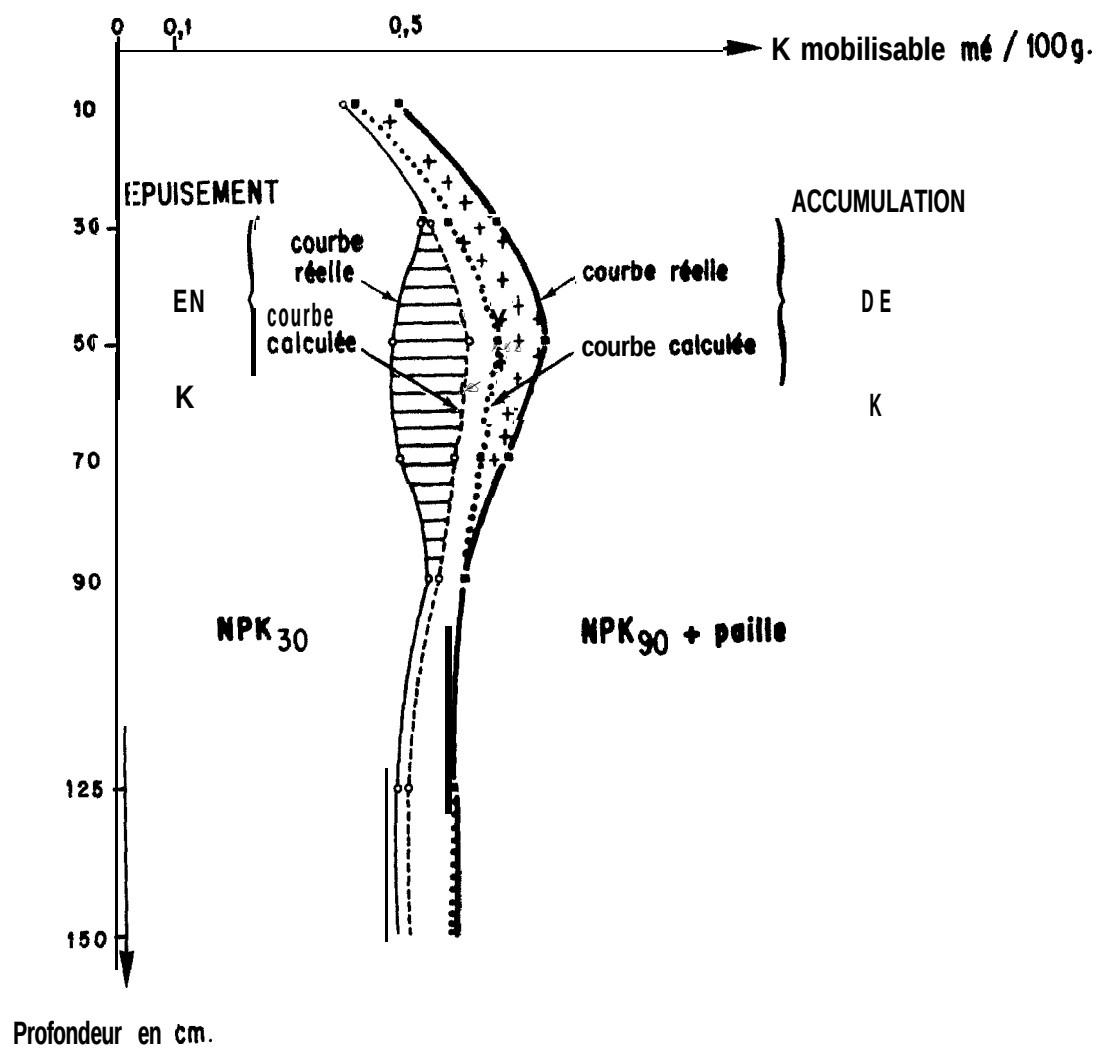


FIGURE 13 : Comparaison entre les teneurs **réelles** et **calculées** en potassium mobilisable dans deux profils de sols Dior (Bambey, 1976).

	<u>Rendements moyens en kg/ha (1973-1977)</u>			
	<u>Témoïn</u>	<u>NP</u>	<u>NPK₃₀</u>	<u>NPK₃₀ + Paille</u>
Gousses	1 386	1 379	1 577	1 954
Fanes	1 343	1 371	1 599	2 034

Tableau 10 : Rendements moyens en arachide obtenus avec différentes fumures (Bambey 1973-1977)

L'enfouissement de paille de mil a, par contre, toujours eu un effet spectaculaire sur les rendements en arachide, la meilleure combinaison étant obtenue en association avec la fumure minérale NPK₃₀ (570 kg/ha/an de gousses en plus et 690 kg/ha/an de fanes).

L'analyse des récoltes faites en 1976 (à l'initiative de J. Gautereau) a confirmé les observations déjà faites (P. Gillier et J. Gautereau, 1971) sur le rôle du potassium dans l'augmentation du nombre de gousses d'arachide bigraines. Il semble que l'enfouissement de paille ait une action similaire mais qu'il accroisse aussi le nombre et le poids des graines saines.

Tout se passe comme si le potassium, et dans une certaine mesure la paille enfouie, avaient augmenté le volume utile consacré à la production de graines sans que celles-ci puissent arriver, dans ce cas précis, à se former ou à se remplir par suite d'une mauvaise nutrition azotée.

Cette dernière hypothèse s'appuie sur les observations de jaunissement précoce d'arachide qui ont été faites en cours de culture et sur une série de mesures d'activité fixatrice au champ (méthode Balandreau) réalisées par le service de biochimie des sols de Ban-bey. Ces mesures ont prouvé que la fixation symbiotique d'azote est faible, mais améliorée en présence de paille enfouie, ce qui peut paraître inattendu. En fait, les microbiologistes insistent sur le rôle important que jouent les fragments de paille enfouie dans ces sols

pauvres en matière organique : ils constitueraient autant de microsites favorables, du point de vue de l'environnement physicochimique et hydrique, à la survie du rhizobium et à l'activité fixatrice de la symbiose réalisée avec l'arachide.

Les dernières mesures de rendement réalisées sur cet essai en 1978, confirment à nouveau le rôle essentiel de l'apport de matière organique à ces sols très sableux, car malgré l'application d'engrais minéraux la production d'arachide stagne. Dans ces conditions de culture, qui permettent d'obtenir avec l'engrais une production fortement accrue de mil (le précédent cultural de l'arachide), l'engrais minéral sans restitution organique, s'avère en réalité plutôt néfaste.

Rendements gosses d'arachide (Bambey 1978)

	Kg/ha				
	000	NPK ₀	NPK ₃₀	NPK ₆₀	NPK ₉₀
Sans paille	952	712	724	775	704
Avec paille	1265	1225	1326	1273	1269

4.2.2 - Evolution de la production de matière sèche au cours de la période 1973-1978

Cette évolution est illustrée par la figure 14 pour les parcelles ayant subi les traitements suivants :

- témoin sans engrais
- fumure annuelle NPK₃₀ et NPK₉₀
- fumure annuelle NPK₉₀ avec enfouissement des pailles de mil

On relève une tendance générale à la baisse de la production de matière sèche au cours des 6 années de culture.

Il faut cependant préciser cette tendance selon que l'on se trouve dans un système sans fumure ou avec application d'engrais.

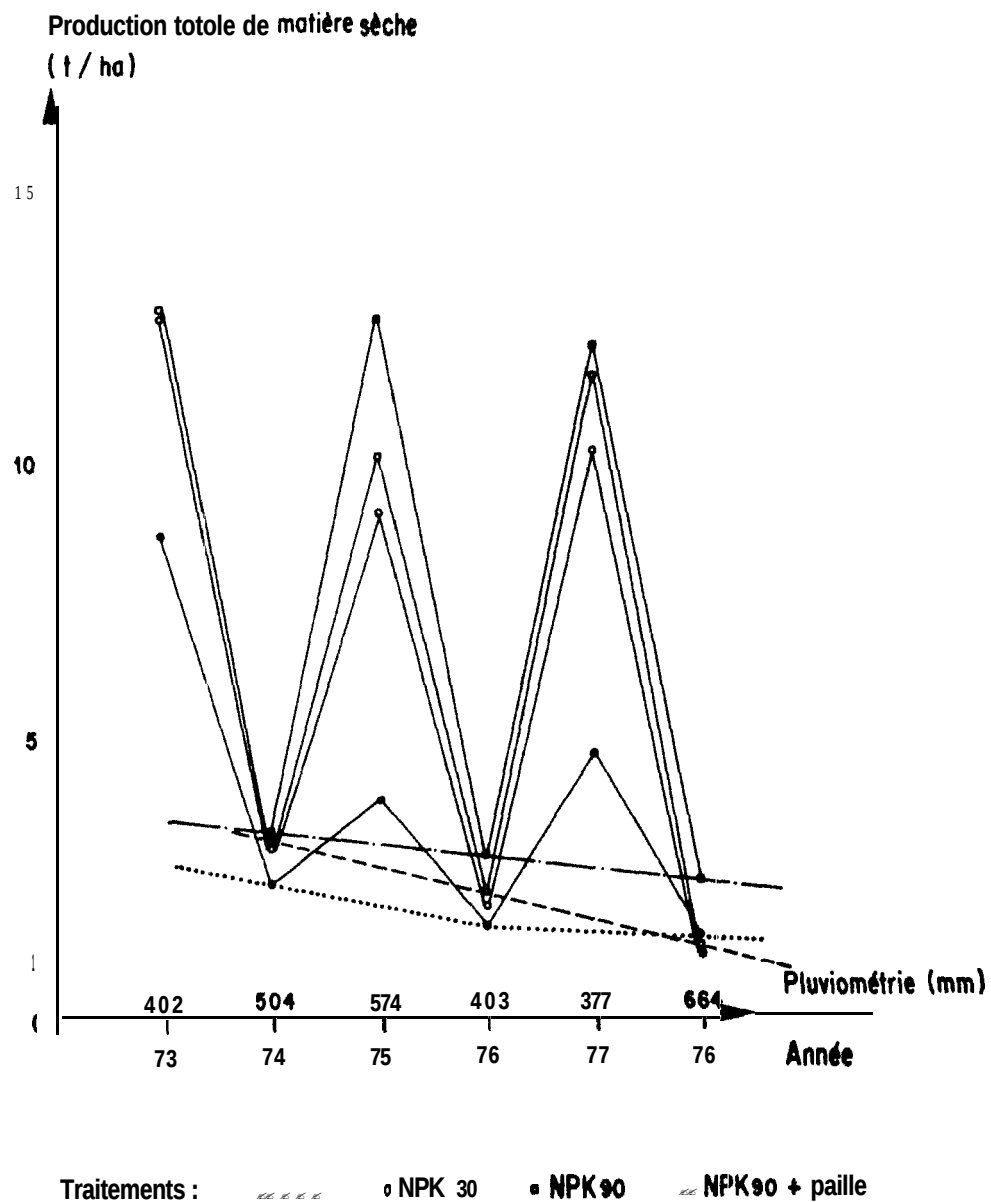


FIGURE 14 : Evolution de la production totale de matière sèche végétale produite de 1973 à 1978 à Bambey.

En absence de tout apport extérieur de fumure la matière sèche produite par la culture d'arachide, et surtout de mil, est fortement réduite. On peut donc conclure à une réelle diminution de la fertilité du sol dans ces conditions.

Dans le cas d'un apport de fumure, deux tendances évolutives se manifestent selon la culture considérée :

- une stabilité de la quantité de matière sèche produite par la culture de mil, à un niveau compris entre 10 et 12 t/ha/an (le niveau légèrement inférieur obtenu en 1975 étant lié à une attaque de criquets),
- dans le cas de l'arachide, pour autant que l'on puisse parler de tendance à partir de données reposant sur trois années de mesure seulement, il semblerait se dégager une évolution défavorable. En effet la production totale de matière sèche tend à décroître d'année en année, aussi bien sur les parcelles cultivées sans engrais que sur celles où l'on applique une fumure NPK avec ou sans restitution des pailles de mil.

Cette évolution est illustrée par la :Figure 14 où l'on a tracé les droites qui joignent les niveaux de rendements en matière sèche produite par la culture d'arachide en 1974, 1976 et 1978.

Toujours avec les mêmes réserves quant à la valeur de cette interprétation basée sur une si courte période, on peut y observer que les pentes de ces droites, qui traduiraient en quelque sorte les vitesses de dégradation relatives de la fertilité du sol, sont de trois types :

- sans engrais, le rendement en matière sèche de l'arachide chute dès la 2^{ème} culture puis tend à se stabiliser à un niveau faible (1,5 t/ha de gousses et fanes),
- avec une fumure NPK et restitution des pailles de mil, la production de matière sèche chute progressivement, à un rythme ("vitesse de dégradation") voisin de celui observé en culture sans engrais,
- avec une fumure uniquement minérale de type NPK, les rendements en matière sèche chutent, et semble-t-il, à un rythme accéléré par rapport aux cas précédents.

En conclusion, après 6 années de cultures pures consécutives de mil et d'arachide, on observe que :

- sans engrais minéral ni restitution organique, la fertilité du sol telle quelle est traduite par la production totale de matière sèche, chute très rapidement (en 1 ou 2 an) puis se stabilise à un niveau faible (qui est celui qui caractérise en réalité la majorité des sols Dior cultivés dans la région),
- si l'on applique une fumure minérale N, les conclusions en matière d'évolution de fertilité de sol sont différentes selon que celle-ci est évaluée par une culture de mil ou par une culture d'arachide.

En effet, alors que l'arachide maintient le niveau de production de matière sèche de céréale, celui de l'arachide chute d'année en année et ce d'autant plus, semble-t-il, que cette culture est réalisée dans un système ne prévoyant pas de restitution organique (enfouissement des pailles de mil après récolte).

On assisterait donc: dans ces conditions, à une dégradation de la fertilité du sol Dior, qui ne serait manifestée que par la culture de l'arachide.

Cette constatation, qui devra certes être étayée par un suivi à plus long terme de la production végétale obtenue sur ces sols, est évidemment préoccupante. On ne peut que souligner dès à présent la convergence qu'il y a entre cette perte probable de fertilité, et l'appauvrissement minéral et organique dûment constaté dans ces sols.

Le fait que l'arachide soit la culture la plus affectée n'est pas en contradiction avec ce que l'on sait par ailleurs sur l'activité fixatrice de la symbiose rhizobium - arachide, dont l'efficacité décroît dans un sol qui s'acidifie (désaturation en bases et risque de toxicité aluminique) et qui a perdu en cinq ans 25 % de son stock de matière organique.

4.3 - Evaluation des bilans minéraux du système sol-plante étudié

Les résultats précédents renforcent l'hypothèse d'une dégradation de la fertilité du sol Dior corrélative d'un appauvrissement minéral et organique de ce sol constaté après quatre années de cultures.

Nous avons essayé de quantifier les pertes minérales qui se sont réellement produites au cours de cette période 1973 à 1976.

Deux méthodes permettent de faire cette évaluation :

- la méthode du bilan, où l'on fait la différence entre Les quantités d'éléments effectivement apportées au sol et celles prélevées ou perdues a-u cours de la culture. Cette méthode a été appliquée au potassium, au calcium, ainsi qu'à l'azote.

En ce qui concerne ce dernier élément, il ne peut s'agir que d'un bilan apparent car de nombreux termes du bilan exact n'ont pas été mesurés, notamment la fixation symbiotique de N_2 de l'air par l'arachide, et les pertes par volatilisation et dénitrification de l'azote engrais.

- la méthode de la variation des stocks minéraux du sol entre L'état initial (mise en culture de 1973) et l'état final (après la récolte de 1976).

Cette méthode a dû être modifiée du fait de l'imprécision de la caractérisation de l'état initial du sol (échantillonnage des profils de référence insuffisant).

On s'est donc limité à une comparaison des stocks d'éléments minéraux évalués avec précision en 1976 dans des profils du même sol Dior soumis expérimentalement à des traitements agricoles différents. :En pratique on a utilisé les résultats déjà présentés au paragraphe 4.1.2 de notre étude, en insistant essentiellement sur le cas du potassium mobilisable et en apportant quelques indications complémentaires relatives à la variation des stocks de calcium échangeable et d' azote total du sol.

4.3.1 - Résultats du calcul des bilans minéraux

Le détail du calcul des bilans minéraux est donné en annexe 4.

Ce calcul a été réalisé à partir des termes de bilan suivant :

- a) - Exportations minérales par les cultures : Document 3 et
et Fig.15
- b) - Pertes par lixiviation : on a, d'une part, calculé le
drainage annuel par la méthode du bilan hydrique effica-
ce (P. Franquin et F. Forest 1977) et, d'autre part, cal-
culé les pertes minérales à partir des données fournies
par le dispositif lysimétrique installé sur le terrain
de l'essai - Document 1
- c) Apports minéraux consécutifs à l'application des engrais
et à la restitution des résidus de récolte (paille) de
mil en fin d'année 1973 et 1975 - Document 3
- d) Apports minéraux dans les eaux pluviales, calculés à par-
tir des résultats obtenus au cours de trois années de me-
sure (1967 à 1978) en six points du territoire sénégalais .
- Document 2

Outre les remarques déjà faites au sujet du bilan azoté, on constatera qu'il n'a pas été tenu compte des pertes minérales par érosion dans ces bilans. En effet, les conditions pédo-climatiques de Bambey sont telles que l'on est en droit de considérer que l'entraînement des éléments minéraux par ruissellement superficiel est nul. Il en va peut être différemment de l'érosion éolienne, non négligeable au cours de la saison sèche.

Dans le cas étudié, il est probable que les apports éoliens aient été plus importants que les départs d'éléments fins arrachés du sol de l'essai car celui-ci a toujours été labouré et cette rugosité artificielle de surface est un facteur connu de limitation de l'érosion éolienne.

Cependant, dans le site expérimental du CNRA de Bambey où la plupart des soles sont labourées, nous avons estimé en définitive ce terme du bilan comme négligeable.

Enfin signalons que l'évaluation des exportations minérales par les cultures a été plutôt obtenue par excès car les conditions de prélèvement des végétaux étaient telles que la restitution organique naturelle, par senescence et chute des feuilles, était réduite au minimum, contrairement à ce que l'on observe en milieu paysan.

Le tableau 11 suivant résume les résultats finalement obtenus par cette méthode de calcul de bilans.

Bilan	Traitement	Sans restitution					Avec restitution de paille de mil				
		000	NPK ₀	NPK ₃₀	NPK ₆₀	NPK ₉₀	000	NPK ₀	NPK ₃₀	NPK ₆₀	NPK ₉₀
	K kg/ha	-198	- 294	- 240	- 143	- 120	- 23	- 98	- 59	+ 27	+ 151
	Ca kg/ha	- 90	+ 47	+ 31	+ 56	+ 38	- 56	+ 85	+ 82	+ 86	+ 81
	N* kg/ha	- 214	- 142	- 158	- 161	- 181	- 197	- 127	- 152	- 133	- 161

Tableau 11 : Bilan minéral du système sol Dior cultivé en mil et arachide (1973-1976)
(N* = bilan apparent de l'azote)

4.3.1.1 - Bilan du potassium

Ce bilan, en général négatif, ne devient positif que si l'on associe à la pratique de la restitution des pailles de mil celle d'une application annuelle d'au moins 100 kg/ha d'engrais KCl (60 kg/ha/an de K₂O).

L'analyse plus détaillée de ce bilan (Document 3-A de l'annexe IV) nous montre :

- les pertes par lixiviation dans ces sols très sableux sont très faibles et, de plus, indépendantes des doses d'engrais K (sous forme minérale et organique) que l'on a appliquées
- ces pertes sont d'ailleurs compensées par les faibles quantités apportées annuellement dans les eaux de pluie
- ce bilan est rendu négatif essentiellement par les exportations potassiques considérables réalisées par la culture de mil

La figure 15 représente la variation des quantités de potassium exporté en fonction de la dose d'engrais potassique appliqué.

On constate le comportement en apparence paradoxal du mil qui, à la différence de la culture de l'arachide, épuise d'autant plus le sol en potassium qu'il reçoit une fumure plus riche en cet élément : cf. $\Delta K_S^2 > \Delta K_S^1$ de la figure 15.

Ce phénomène est moins accusé en 1975 du fait des accidents végétatifs survenus cette année là. Mais nous avons pu le vérifier sur les résultats obtenus avec la série² de cette même expérimentation.

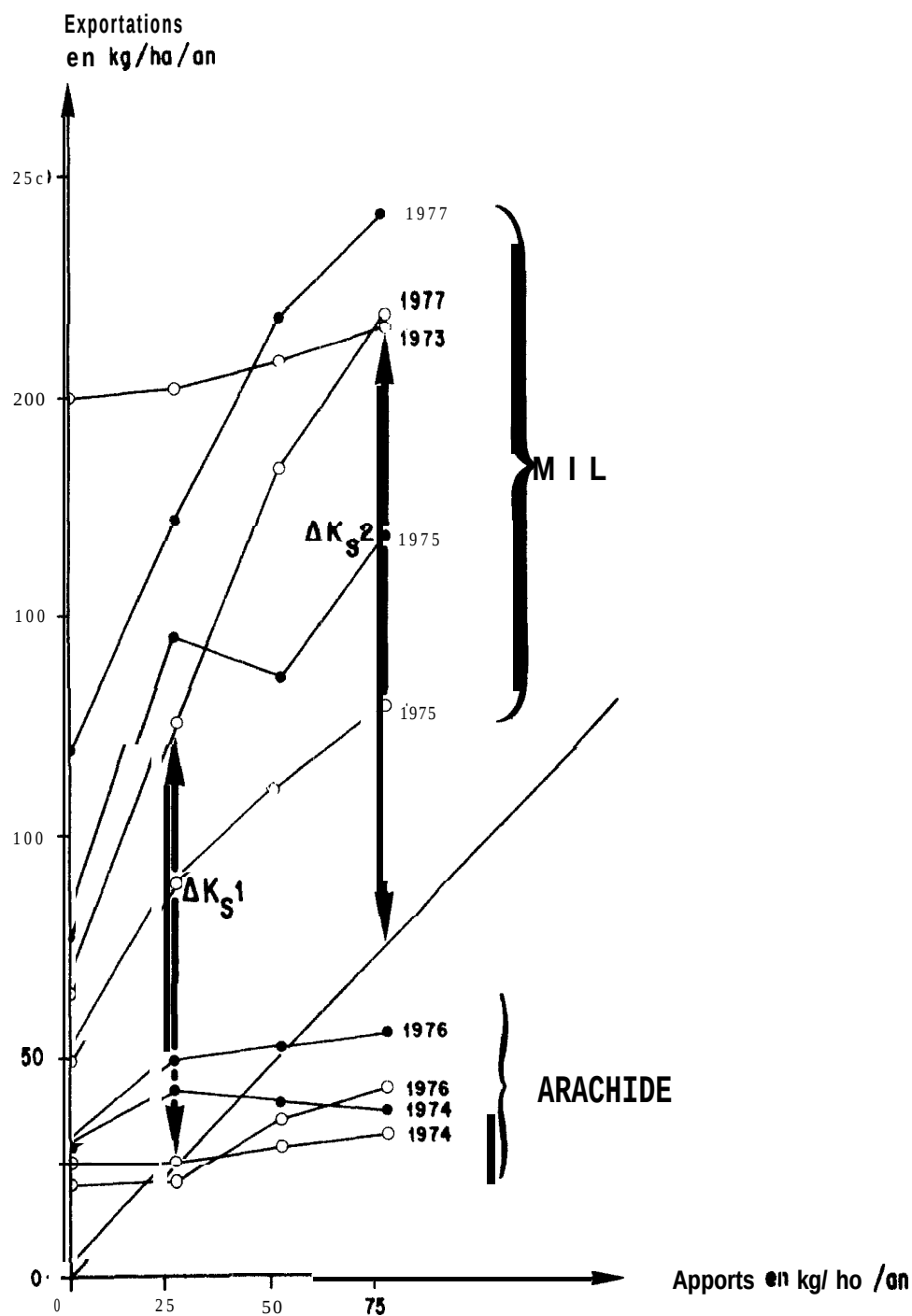
En outre, d'autres chercheurs travaillant sur des plantes à développement végétatif comparable à celui du mil (Velly, 1972; Fritz, 1973) ont noté ce phénomène qui s'explique par les effets cumulatifs du potassium-engrais sur la croissance végétale, d'une part, et sur l'enrichissement des tissus végétaux en cet élément, d'autre part (cf. § 3.1.1 et 3.2.4.2).

Il conviendra donc de tenir le plus grand compte de cette constatation qui, soulignons-le, n'a d'incidence très défavorable que si l'on ne pratique pas la restitution des pailles de mil : augmenter la fumure potassique du mil sans restituer les pailles à la récolte aboutira au résultat contraire à celui escompté, c'est à dire à l'accélération de l'épuisement des réserves potassiques du sol. Ce phénomène n'apparaît pas dans le cas de la culture de l'arachide qui, lorsqu'on applique des doses supérieures à 60 kg/ha, permet une restauration du bilan potassique du sol. - Celui-ci apparaît alors globalement positif après 2 successions culturales mil-arachide, à la stricte condition que l'on restitue au sol les pailles de mil.

4.3.1.2 - Bilan du calcium

Ce bilan est, en général, positif dans les conditions de cet essai.

L'analyse détaillée du document 3-B de l'annexe IV nous montre



0 Exportations sur parcelle sans enfouissement.

Exportations sur parcelle avec enfouissement de paille de mil.

ΔK_s Quantité de K , kg/ha , fournie par les réserves du sol

FIGURE 15 : Exportations en potassium du mil et de l'arachide en fonction des apports d' engrais potassique (**Bombey**, 1973 - 1977).

que :

- les apports de calcium par les pluies sont notables et jouent certainement un rôle dans le maintien du taux de saturation en bases des sols au Sénégal (cf. Document 2, annexe IV)
- les pertes par lixiviation sont importantes et, en pratique, du même ordre de grandeur que les exportations par les plantes.

En réalité ce bilan calcique, rendu positif par l'emploi de phosphates calciques, est largement commandé par les pertes dues au drainage.

Il convient à ce propos de discuter les bases du calcul de ces pertes telles qu'elles ont été présentées dans le document 1-B de l'annexe IV. En effet il n'a pas été possible, dans le cadre de cette étude (utilisation de lysimètres), de déceler l'influence de la fertilisation potassique sur la mise en solution du calcium.

En conséquence des pertes uniformes de 72 kg/ha de Ca en 4 ans ont été évaluées quel que soit le traitement du sol. Ceci est peu vraisemblable compte tenu de l'évolution décrite plus haut des profils de sol et illustrée par la figure 11.

Nous avons confirmé depuis cet effet lixiviant de l'engrais KCl (Piéri, 1979) dans les mêmes conditions expérimentales que celles de cette étude, mais en utilisant des capteurs de solution de sol en céramique poreuse. Nous en rappelons brièvement les conclusions.

En 1977, sous une culture de mil de la même variété, et pour une pluviométrie de 419 mm, le drainage a atteint 34 mm et les pertes en Ca furent :

- sous les parcelles à fumure NP: 10,5 kg/ha
- sous les parcelles à fumure NPK₉₀: 18,9 kg/ha, soit 1,8 fois plus élevées.

En appliquant ce coefficient, le déficit calcique sous les parcelles n'ayant reçu qu'une fumure NPK₉₀ de 1973 à 1976 s'élèverait donc à 117 kg/ha de Ca, soit à plus de 200 kg/ha de Ca (OH)₂, valeurs certainement beaucoup plus proches de la réalité.

En conclusion, et malgré l'imprécision des mesures des pertes par lixiviation, on doit constater que toute mise en culture des sols Dior entraîne un appauvrissement notable du profil en calcium (et en magnésium) qui, dans le cas de cette expérimentation, a été compensé par l'emploi d'engrais calciques (non utilisés en pratique au Sénégal).

Il y a, par contre, de fortes chances pour que ces pertes calciques soient accrues par une fertilisation potassique à base d'engrais KCl employé à fortes doses, au point de rendre le bilan "entrée-sortie" négatif après 4 années de culture sans restitution organique.

Nous verrons dans la conclusion générale de cette étude quelle sont les implications pratiques de ces observations.

4.3.1.3 - Bilan apparent de l'azote

En complément des résultats du tableau 11, rappelés ci-dessous, on indique quelles ont été les quantités d'azote exportées par l'arachide :

		<u>Sans restitution</u>					<u>Avec restitution de paille de mil</u>				
Traitement :		000	NPK	NPK ₃₀	NPK ₆₀	NPK ₉₀	000	NPK ₀	NPK ₃₀	NPK ₆₀	NPK ₉₀
Export.	N arachide :	120	126	133	147	150	140	162*	176*	166*	189*
	Bilan N apparent : mil+arachide	-214	-142	-158	-161	-181	-197	-127	-152	-133	-161

On observe que le bilan de l'azote ne deviendrait positif* qu'à trois conditions :

- que tout l'azote mobilisé par la culture de l'arachide provienne de la fixation symbiotique
- que l'on restitue les pailles de mil au sol
- et que la culture d'arachide reçoive une fumure NP ou NPK

or, d'après les travaux de Ganry et al. (1976 à 1978) relatifs à ces questions, nous savons que :

- la fixation d'azote de l'air par l'arachide couvre 30 à 70 % des besoins totaux de la plante en cet élément, les pourcentages les plus faibles étant relevés les années; à pluviométrie défavorable, comme l'ont été les années 1973 et 1976,

- les pertes de N-engrais dans l'atmosphère, qui sont de l'ordre de 20%, sont accrues en présence de résidus végétaux. Sur ce point, il faut rappeler que les fortes fumures azotées sont apportées sur la culture de mil et non pas sur la culture qui suit immédiatement les enfouissements de paille. On peut donc: considérer que les pertes dans l'atmosphère sont maintenues à leur niveau le plus bas car un an et demi après leur incorporation dans le sol les pailles sont, en pratique, totalement décomposées par minéralisation.

Quoi qu'il en soit, et en faisant l'hypothèse optimiste d'un taux de 50 % de couverture des besoins N de l'arachide par la fixation symbiotique, on constate que le bilan de cet élément reste toujours négatif, la situation la moins défavorable étant obtenue lorsqu'après enfouissement des pailles de mil on cultive une arachide recevant une fumure NP ou NPK₃₀.

Ce bilan est conforme aux conclusions déjà tirées sur l'évolution des taux de matière organique dans les horizons de surface de ce sol (cf. tableau 8).

4.3.2 - Variation relative des stocks de réserves minérales du sol

Nous étudions d'abord le cas de l'évolution des réserves en potassium mobilisable dans le profil.

4.3.2.1 - Stock de potassium mobilisable

Les éléments du calcul de la variation de stock de potassium mobilisable dans les profils de sol des parcelles recevant une fumure annuelle du type NPK₃₀ (et NPK₉₀ + Paille), sont donnés dans le paragraphe 4.1.2 et illustrés par la figure 13.

Il s'agit donc d'une variation relative de stock induite par ces fumures par rapport au stock présent en 1976 dans les profils de sol des parcelles sans engrais.

Le calcul présenté dans le tableau 12 revient en quelque sorte à évaluer les surfaces correspondant aux zones "d'épuisement en K" et "l'accumulation en K" de la figure 13.

		A K mé/100 (écart entre les teneurs en K mobilisable réel et calculé)	
Profondeur en cm	Parcelle NPK ₃₀	Parcelle NPK ₉₀ + Paille	
0 - 20	- 0,002	+ 0,078	
20 - 40	- 0,010	+ 0,091	
40 - 60	- 0,137	+ 0,083	
60 - 80	- 0,093	+ 0,054	
80 - 100	- 0,011	- 0,003	
> 100	E	E	
TOTAL			
mé/100g	- 0,253	+ 0,054	
K kg/ha	- 294	+ 355	

Tableau 12 : Variation relative du stock de K mobilisable (Bambey 1976)

Ces chiffres sont à rapprocher de ceux obtenus par la méthode du bilan :

- cas des parcelles NPK₃₀ : la variation relative du stock de K est égale à la différence algébrique entre les valeurs du bilan de cet élément pour les parcelles NPK₃₀ et pour les parcelles sans engrais (000) soit

$$\Delta K = - 240 - (198) = -42 \text{ kg/ha}$$

- cas des parcelles NPK₉₀ + Paille : on a de la même façon :

$$\Delta K = + 151 - (-198) = + 349 \text{ kg/ha}$$

On constate une excellente concordance de résultats dans le cas des parcelles où l'on a appliqué une fumure forte (NPK₉₀ + Paille). Par contre, les deux méthodes fournissent des résultats très différents pour les parcelles appauvries en K ayant reçu la fumure annuelle NPK₃₀ (traitement 3).

Cette divergence peut cependant être expliquée de la façon suivante. Le dernier mode d'évaluation (variation relative des stocks) repose sur l'hypothèse de base qu'il n'y a pas de différence de nature mais seulement d'intensité dans les processus qui règlent l'évolution de la richesse potassique du sol Dior, qu'il reçoive une fumure annuelle NPK_{30} (traitement 3) ou qu'il soit cultivé sans engrais (traitement 1).

Apparemment cette hypothèse doit être rejetée puisque le stock de K mobilisable du sol a été plus affecté dans le cas 3 (NPK_{30}) que dans le cas 1 (sans engrais), alors que les prélèvements par les cultures ont été du même ordre de grandeur (240 et 198 kg/ha respectivement).

Tout se passe comme si le renouvellement de ce stock à partir du potassium total (c'est à dire le potassium du réseau silicaté que l'on extrait par une attaque fluoro-perchlorique du sol) était moins bien assuré dans le cas 3 (NPK_{30}) que dans le cas 1 (sans engrais) et le cas " $(\text{NPK}_{90} + \text{Paille})$ ".

On devrait alors, dans ces conditions, constater une chute du rapport K mobilisable/K total.

Ceci a pu être contrôlé en 1977 (en 1976 aucun dosage de K total n'a été fait) sur l'horizon de surface du sol de toutes les parcelles de 1^{er} essai.

Les chiffres présentés dans le tableau 13 illustrent cette hypothèse : dans l'horizon de surface des parcelles soumises aux traitements de fumure NPK_0 , NPK_{30} et $(\text{NPK}_0 + \text{Paille})$ la proportion de K mobilisable par rapport au K total est inférieure à celle mesurée sur les autres parcelles et en particulier là où l'on a appliqué la fumure $(\text{NPK}_{90} + \text{Paille})$.

Traitement	mg/100g							
	000	NPK ₀	NPK ₁₀	NPK ₃₀	000	NPK ₀	NPK ₃₀	NPK ₉₀
K Total (HF)	1,847 +0,117	1,862 +0,140	1,858 +0,077	-1,878 -0,084	+1,134 -0,084	+0,134 0,390	1,858 +0,145	1,897 +0,136
K mobilisable (nitrique)	0,470 +0,035	0,405 +0,044	0,430 +0,038	+0,478 +0,065	+0,478 +0,050	+0,031 +0,031	0,470 +0,073	0,550 +0,076
$\frac{K \text{ mobilisable}}{K \text{ Total}} \%$	25,4	21,8	23,2	25,5	26,0	21,9	25,3	29,0

Tableau 13 : Teneurs en potassium de l'horizon de surface (0-20 cm) du sol en 1977 (Bambey, série 1) avec indication des intervalles de confiance

En conclusion, il est évident que l'explication que nous proposons à partir de ces quelques chiffres mérite d'être approfondie et testée pour en apprécier la réelle valeur et la signification. Elle attire cependant à nouveau notre attention, à partir d'un problème très concret de maintien de fertilité potassique des sols sableux, sur l'intérêt qu'il y aurait à avoir une meilleure connaissance des paramètres qui règlent les équilibres entre les différentes formes du potassium dans ces sols.

Constatons enfin, du simple point de vue de la pratique agronomique, que les traitements de fumure appliqués entraînent soit un appauvrissement, soit un enrichissement en potassium de ce sol et donc qu'il est parfaitement concevable, tout en intensifiant la production végétale, de trouver des solutions techniques qui au minimum maintiennent les sols Dior à leur niveau de fertilité potassique initial.

4.3.2.2 - Stock de calcium échangeable

L'évaluation de la variation relative du stock de calcium échangeable du sol après 4 années de culture peut être ~~obtenue~~ à partir des résultats illustrés par la figure 11 (p.42) et en appliquant la méthode de calcul décrite pour le potassium.

Or cette figure 11 montre que les profils de répartition du calcium échangeable (et du magnésium échangeable) ~~se~~ sont fortement différenciés en fonction des traitements.

Sans entrer dans le détail des calculs, on aboutit à des valeurs de pertes apparentes en calcium échangeable de plus de 600 kg/ha dans les profils de sol ayant reçu une fumure "NPK₃₀" ou "NPK₉₀ + Paille" en comparaison avec la situation observée en 1976 dans les profils de sol n'ayant jamais reçu d'engrais.

Ces chiffres n'ont donc aucune commune mesure avec ceux obtenus par la méthode du bilan "entrée-sortie".

Dans un cas on devrait conclure à l'extrême appauvrissement du sol en calcium (variation du stock de Ca échangeable), dans l'autre on conclut à un maintien, voire un renforcement des réserves calciques du sol (méthode du bilan).

Aussi, en l'absence d'autres éléments d'information (connaissance de la variation des teneurs en calcium total), il convient simplement de constater que :

- le calcium échangeable est un indicateur erroné de l'évolution des réserves calciques des sols Dior. On avait d'ailleurs déjà observé que les teneurs en Ca échangeable sont plus le reflet du type de culture réalisée que de la richesse chimique des sols Dior.
- la méthode des bilans "entrée-sortie", elle aussi imprécise, ne rend pas du tout compte des modifications chimiques profondes qui ont lieu au sein du profil des sols cultivés

4.3.2.3 - Stock d'azote total

Compte tenu de la répartition très en surface de la matière organique, on a uniquement considéré la variation de stock de N total dans les 20 premiers centimètres du sol : au cours des 4 années de culture.

Ceci présentait le gros avantage de pouvoir comparer directement les résultats obtenus en 1973 et en 1976, puisque, pour l'horizon considéré, on avait des échantillonnages de qualité comparable.

On constate alors, d'après les chiffres donnés dans le tableau 8, qu'en moyenne la couche de terre considérée s'est appauvrie de 40 ppm de N total, soit environ 120 kg/ha (valeurs extrêmes 90 et 150 kg/ha), chiffres tout à fait cohérents avec ceux obtenus par la méthode du bilan.

+
+ +

En conclusion à cette évaluation des bilans du potassium, du calcium et de l'azote, dans le système étudié nous retiendrons les faits saillants suivants :

- le bilan potassique est sous la dépendance des exportations en cet élément, parfois considérables, réalisées par la culture du mil. Il n'apparaît positif que si l'on associe à la pratique de la restitution des pailles de mil celle d'une fertilisation minérale équivalente au minimum à un apport annuel de 100 kg/ha d'engrais KCl (60 kgK₂O). Mais il convient de raisonner cette fumure, car s'il est possible d'enrichir le sol en potassium, en apportant à la culture de l'arachide des doses d'engrais K supérieures aux exportations, il est vain et préjudiciable de tenter d'agir ainsi pour le mil. En effet, dans ce

cas, plus on apporte de K-engrais plus on favorise l'épuisement des réserves potassiques du sol. Il faudra donc, dans la pratique agricole, tenir compte de ce phénomène pour se prévenir de recommandations de fertilisation erronées.

Il est apparu enfin qu'il serait très souhaitable de mieux connaître la nature des facteurs qui règlent la cinétique des échanges dans le sol entre les différentes formes de potassium, depuis les plus stables (K^+ du réseau) jusqu'au plus labiles (K^+ échangeable et soluble).

- le bilan calcique du sol s'est avéré positif dans la plupart des cas. En réalité ceci tient à l'apport de phosphate calcique sur les cultures de mil et d'arachide qui a permis de maintenir un bilan "entrée-sortie" équilibré, voire largement positif dans le cas d'une restitution intégrale des pailles de mil au sol.

Or, au Sénégal, les phosphates calciques entrent peu ou pas du tout (phosphate d'ammoniaque) dans la composition des formules d'engrais vulgarisées. On sait aussi que la pratique de la restitution organique est peu suivie par les agriculteurs.

C'est dire que la décalcification des sols, due essentiellement au phénomène de la lixiviation, et son corollaire, l'acidification, sont des processus certainement en cours dans ce pays. Ils pourraient être accélérés par l'emploi abusif de fortes doses d'engrais KCl (et azotés évidemment).

Heureusement il semble que, du moins dans la partie du pays sous influence océanique, le calcium contenu dans les eaux de pluie permette de ralentir cette évolution défavorable du bilan calcique des sols.

Par contre, on constate un effet important de la culture et de la fertilisation sur le statut et la dynamique du calcium dans les sols, qu'il conviendrait d'étudier plus en détail pour avoir une meilleure appréciation de l'évolution à long terme de ces sols.

- Enfin l'essai d'établissement d'un bilan de l'azote a montré que celui-ci, certainement négatif dans les conditions de cette expérimentation comme le confirme la chute du taux d'azote total du sol, ne pouvait apparaître équilibré qu'à la condition d'une bonne activité fixatrice de la culture de l'arachide et de l'application conjointe des techniques de fertilisation et de restitution organique.

V - CONCLUSION GENERALE

A partir de la constatation banale d'un déséquilibre manifeste existant entre, d'une part la quantité élevée de potassium exportée par une bonne culture de mil et, d'autre part, celles, bien plus faibles, contenues dans les fumures généralement vulgarisées, on a cherché à préciser les bases d'une fertilisation potassique adaptée à cette culture qui, dans l'ensemble de la zone soudano-sahélienne, est traditionnellement associée à l'exploitation agricole des sols sableux.

L'étude réalisée en sol très sableux -sol Dior- dans la zone semi-aride (moins de 600 mm de pluviométrie annuelle) du Sénégal nous a permis d'apporter certains éléments de réponse.

L'exemple traité a été assez illustratif de l'enchaînement des problèmes qui se posent à l'agronome lorsque celui-ci souhaite faire des propositions techniques précises satisfaisant à la fois l'objectif immédiat d'un accroissement rentable des rendements et les exigences d'un maintien à long terme de la capacité de production du milieu, c'est à dire de sa fertilité.

Il a fallu, en fait, aller au-delà de la simple définition d'une dose d'engrais à apporter sur une culture, pour suivre l'évolution globale des équilibres minéraux dans un système agrotechnique défini par une succession culturale (mil-arachide) et un niveau particulier d'intensification (culture attelée bovine avec ou sans restitutions organiques).

Au terme de cette étude, il convient donc de faire le point des connaissances acquises dans le double but suivant :

- établir des recommandations techniques précises proposées aux agents du développement agricole du Sénégal,

- apprécier dans quelle mesure ces connaissances contribuent à une meilleure compréhension du fonctionnement du système "mil-sol sableux", système qui, comme nous le soulignons en introduction, concerne plusieurs millions d'hectares cultivés et, en définitive, plusieurs millions d'habitants des pays au Sud du Sahara.

5.1 - La fertilisation potassique adaptée au système mil-sol sableux

L'enseignement principal de cette étude est que l'on ne doit pas établir la fumure potassique du mil en suivant le principe de l'application d'une dose d'engrais potassique (en fertilisation d'entretien) qui compense les exportations en potassium de cette culture.

Non seulement ceci conduirait à préconiser des doses d'engrais très élevées, ayant peu de raison d'être rentabilisées ^{le} par le surcroît de rendement obtenu, mais irait à l'encontre du but poursuivi, à savoir le maintien de l'équilibre potassique du système.

En effet, ce système sol-plante est tel que plus on apporte de fortes doses d'engrais potassique (dans l'intervalle 0 à 90 kg/ha/an de K_2O) sur le mil plus on favorise l'épuisement des réserves en potassium du sol.

Ce résultat paradoxal est lié à l'effet particulier de l'engrais K sur le mil qui tout à la fois stimule fortement la croissance de cette plante et, en plus, accroît la teneur en potassium des tissus formés.

La fumure potassique du mil doit donc être mise au point en tenant compte :

- du rôle précis du potassium sur les facteurs d'élaboration du rendement du mil et de son effet réel sur l'accroissement de la production utile de cette culture.

- des objectifs de production fixés au système mil-arachide,
- du maintien de la fertilité du milieu.

Nous avons alors montré que le potassium est bien un facteur d'accroissement des rendements en mil (en moyenne la récolte de grain est augmentée de 20 %), bien qu'il soit loin d'égaliser les performances atteintes par la fumure phospho-azotée (qui accroît les rendements de près de 80 %).

Mais l'originalité et l'intérêt du potassium réside dans le rôle que cet élément joue dans la stabilisation inter-annuelle de la production de mil du système.

✓ Pour les conditions climatiques (sécheresses fréquentes) dans lesquelles fonctionne ce système mil-sol sableux, cette propriété de la fumure potassique est incontestablement d'un intérêt majeur.

Cette stabilité des rendements a pu être mise en relation avec l'effet du potassium sur la vigueur au démarrage du mil. Cette vigueur provient en fait :

- d'une augmentation de la vitesse de croissance du mil, qui s'implante ainsi plus rapidement dans ce milieu sableux,
- d'une précocité accrue d'apparition des talles, qui ont toute chance de devenir fructifères et non végétatives comme les talles formées plus tardivement,
- d'une plus grande résistance à la sécheresse (régulation stomatique, croissance racinaire).

Aussi, en se limitant à cette partie de l'analyse des effets de l'engrais potassique sur le mil, on peut en déduire que les doses à appliquer doivent être modérées car cette culture ne mobilise, dans les quinze premiers jours de croissance, que des quantités réduites de potassium. En conséquence, une dose de 30 kg/ha de K_2O apparaît comme un maximum, ce qui a été confirmé par les résultats obtenus en essai au champ au cours de ces cinq dernières années d'expérimentation. Il convient de souligner d'ailleurs que cette quantité de potassium est celle qui est recommandée par la vulgarisation au Sénégal pour la fumure du mil en conditions améliorées (150 kg/ha de 10-21-21).

Mais, en appliquant une telle dose, la suite de notre étude prouve que le système n'est pas en équilibre par suite de l'épuisement des réserves potassiques du sol, particulièrement sensible en profondeur (entre 40 et 90 cm).

Les recommandations à faire doivent donc prendre en compte les objectifs de production que l'on se fixe et les situations agricoles existantes.

Sans vouloir nous substituer aux responsables du développement agricole, nous avons, à titre d'exemple, raisonné la fumure potassique du système mil-sol sableux dans deux situations caricaturales. Nous considérons d'une part le cas d'une exploitation traditionnelle à très faible niveau d'intensification et, d'autre part, celui d'une exploitation qui a déjà acquis des moyens de production importants (matériel de culture attelée, engrais, pesticides, etc...).

Dans le premier cas les statistiques agricoles nous apprennent qu'en système traditionnel extensif les rendements moyens en mil sont inférieurs à 500 kg/ha. On peut alors dire que, dans de telles conditions, la moyen le plus puissant pour accroître les rendements de mil à l'hectare n'est pas en priorité la fertilisation mais l'amélioration des techniques culturales et le respect de leur date d'application, en insistant tout particulièrement sur le démariage précoce, les sarclages, etc.... Dans ce domaine, l'accroissement potentiel des rendements est supérieur à 200 % ! Ce faisant, les agents de la production agricole doivent savoir qu'ils prennent un risque car cette augmentation des rendements est obtenue aux dépens du capital foncier. Très tôt, sinon immédiatement, la fumure phospho-azotée apparaîtra nécessaire mais ce n'est qu'à partir du moment où les rendements en mil seront régulièrement supérieurs à 1 tonne de grains à l'hectare que l'on pourra raisonnablement espérer obtenir un effet sensible de la fumure potassique sur la production.

Ceci nous amène au deuxième cas, celui d'un système agricole en cours d'intensification, ayant dépassé le cap de production des 1000 kg/ha de grain de mil en moyenne annuelle.

Il est alors vraisemblable que, dans ces conditions, en absence d'apports réguliers et massifs de fumier, les réserves minérales du sol, et notamment en potassium, sont déjà largement entamées.

Un certain nombre d'indicateurs, qu'il conviendra de mieux préciser, permettent d'attirer l'attention du responsable agricole sur cette situation. En effet, la fumure potassique a de fortes chances d'accroître les rendements en mil dès que la teneur du sol Dior en K échangeable est inférieure à 0,05 me/100 g dans les horizons de surface, que le pourcentage de K dans la paille de mil à la récolte n'atteint pas 1,5 %, ou que ce pourcentage dans les jeunes feuilles prélevées au moment du démariage (vers le 10^{ème} jour après la levée) est inférieur à 1,5 % (pour des teneurs en N de 4,5 à 5 % et de P supérieures à 0,5 %).

On pourra alors chercher dans un premier temps à relever le niveau potassique du sol. Il faudra recommander dans ce cas l'application de doses assez importantes d'engrais potassique sur la culture de l'arachide, correspondant à des quantités de K supérieures aux exportations de cette culture (soit des apports de 40 à 50 kg/ha de K_2O). Ceci aura le double avantage de favoriser la production de fanes d'arachide, fourrage d'intérêt primordial dans ces zones, et de permettre le redressement des réserves potassiques du sol.

La fumure potassique du mil sera évidemment conseillée, comme facteur de stabilisation de la production en conditions d'intensification. Un apport de 80 kg/ha de K_2O est suffisant, en veillant à ce que l'engrais soit bien appliqué à temps (c'est à dire en pratique, au moment du semis)

Ce faisant, le producteur atteindra rapidement un niveau supérieur d'intensification avec une production moyenne annuelle de 2 t/ha de grain de mil qui justifiera pleinement la pratique de la restitution au sol des résidus de récolte de cette culture.

Tout au long de cette étude nous avons en effet mis en évidence le grand intérêt de ces enfouissements de paille. Il convient cependant de préciser deux points importants à ce sujet :

- l'enfouissement des pailles n'est vraiment intéressant, et donc attractif, (gain de rendements en mil et en arachide, amélioration du capital foncier) que pour les agriculteurs qui pratiquent déjà un système de cultures avec application d'engrais minéraux

Dans le cadre d'un système de cultures sans apports d'engrais il est peu réaliste de préconiser une telle opération, dont on connaît la difficulté de réalisation, alors que son impact est, nul sur l'amélioration des rendements en mil, insuffisant sur le maintien du bilan minéral, et reste aléatoire (*) en terme d'accroissement de rendement en arachide.

- la quantité de paille à enfouir doit être précisée par d'autres essais car, au cours de cette expérimentation de longue durée, on a pu constater que l'enfouissement de 4 t/ha ou de 8 t/ha de matière sèche tous les deux ans avait le même effet améliorateur sur les rendements des cultures de mil et d'arachide.

Ne pouvait-on pas aboutir aux mêmes résultats en enfouissant des quantités moindres de matière organique dans le sol ?

Cette question introduit la réflexion sur le fonctionnement du système mil-sol sableux, développée dans la deuxième partie de votre conclusion.

5.2 - Maintien de la fertilité et fonctionnement système mil-sol sableux

Nous avons montré dans cette étude que la productivité d'un tel système, exprimée en quantité de matière sèche produite par unité de surface cultivée, peut être considérablement accrue grâce à l'emploi d'un ensemble de facteurs de production, en principe à la portée de tous les agriculteurs de la zone : variétés améliorées, engrais, pesticides, chaîne de culture attelée bovine.

On sait avec précision ce qu'il faut faire pour produire, bon an mal an, plus de 2 800 kg/ha de grains de mil, ce qui représentent 7 fois plus que la production moyenne à l'hectare obtenue dans les champs paysans.

(*) car dépend des conditions hydriques du sol et de la paille au moment de l'enfouissement.

Certes l'adéquation des techniques recommandées aux réalités agricoles du Sénégal et des autres pays soudano-sahéliens doit encore être améliorée. Bien d'autres conditions, économiques notamment, doivent être réunies mais, d'après l'exemple que donnent déjà certains agriculteurs, le temps n'est peut être pas si loin où ces techniques seront largement appliquées.

Or un tel accroissement de productivité dans un milieu écologique, unanimement reconnu comme très fragile, ne présente-t-il pas un grave danger potentiel ?

En nous limitant aux modifications induites dans le seul milieu physique, notre étude peut apporter certains éléments de réponse à cette question qui fait souvent l'objet de débats passionnés.

En effet nos résultats, qui soulignons le à nouveau ont été obtenus dans de très bonnes conditions de culture (labour annuel, bonne densité, démariage précoce, sarclages à la demande, etc...), semblent bien montrer que la fertilité du système mil - solsableux ne s'est pas maintenue après 5 à 6 années d'exploitation.

Cependant, et c'est là l'important, cette déperdition de fertilité (évaluée par la diminution de matière sèche totale produite par an et par hectare) n'a pas la même ampleur selon les types de fumure appliquées au sol :

- sans apports extérieurs d'éléments minéraux, la fertilité du sol baisse très rapidement et dès la deuxième année de culture les rendements de mil et d'arachide tendent à se stabiliser à un niveau bas,

- avec une fumure minérale adaptée NPK, on arrive à maintenir le niveau de production du mil, mais pas celui des cultures d'arachide, dont le rendement chute d'année en année, d'autant plus fortement que l'on ne pratique pas de restitution organique dans le cadre de ce système de cultures,

- en associant fumure minérale NPK et restitution des pailles de mil (enfouies après récolte), on maintient le niveau de production de cette céréale à un très haut niveau (un rendement moyen de 2805 kg/ha a été obtenu

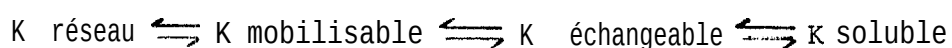
dans cet essai au cours de la période 1973 à 1977, où La moyenne pluviométrique annuelle a été de 452 mm), mais on constate toujours une chute progressive des rendements en arachide. Il y aurait donc, même dans ces conditions de culture les plus favorables, une dégradation de la fertilité des sols Dior, qui se ferait au même rythme que celui constaté dans un système de cultures sans fumure (mais où, dans les conditions de cette expérimentation, on a pratiqué le labour et le strict respect du calendrier cultural, ce qui a permis d'obtenir un rendement moyen de 1280 kg/ha de mil, soit le double de ce qui est observé en système traditionnel).

Ainsi, dans les conditions techniques fixées au départ à cette étude, nous faisons donc la preuve que nous savons très efficacement accroître la productivité du système mil-sol sableux, mais nous ne savons malheureusement pas encore en assurer le maintien des potentialités.

Le problème mérite cependant d'être analysé plus en profondeur, ce que nous avons fait par le calcul des bilans minéraux.

Nous avons surtout étudié les cas du potassium, du calcium et de l'azote, sachant que dans ces sols le maintien de la fertilité phosphorique du milieu ne pose pas de problème difficile à résoudre.

Le bilan du potassium soulève deux types de problèmes : le premier est d'ordre pratique. Peut-on arriver à corriger la carence d'un sol appauvri en potassium et maintenir un bilan équilibré ? La réponse donnée par cette étude est oui, puisque nous avons pu vérifier expérimentalement qu'il est possible d'enrichir le sol en K en associant fumure minérale, et restitution organique. On peut donc dire que la crainte d'un épuisement irréversible des sols en potassium est certainement exagérée. Cependant, et c'est le deuxième problème posé, est-on assuré de maintenir le statut potassique du sol dans son état initial ? Le potassium se trouve sous plusieurs formes dans les sols, depuis les plus stables (K du réseau silicaté) jusqu'aux plus labiles. Après quatre ans de culture intensive, nous avons constaté que toutes ces formes de potassium étaient affectées par les prélèvements réalisés par le mil. Le sol Dior, et d'une façon générale, les sols sableux, sont "pauvres mais généreux" et nous ne connaissons pas suffisamment les mécanismes qui règlent les transferts entre :



Donc, tout en estimant qu'une "catastrophe" n'est pas réellement à craindre, il nous semble important de dire qu'une recherche sur ces mécanismes doit être entreprise, en essayant en particulier de préciser le rôle de l'engrais, de la plante et du régime hydrique sur les équilibres entre les formes du potassium dans les sols sableux.

Le bilan du calcium a soulevé des problèmes analogues à ceux du potassium. L'intensification agricole entraîne en effet inéluctablement une décalcification qui, dans la plupart des cas, n'est compensée que par d'éventuels apports météoriques puisque les engrais utilisés, à l'exception des phosphates calciques, sont dépourvus de cet élément, voire en facilite la lixiviation. Si ce maintien du bilan calcique doit donc être une préoccupation constante des agronomes, sa réalisation ne présente pas de difficultés insurmontables (amendements alcalins, restitution organique). Mais, comme pour le potassium, le maintien de l'état calcique suppose que l'on ait une meilleure connaissance des facteurs qui régissent la dynamique du calcium qui, comme nous l'avons vu, peut être fortement modifiée par la culture du mil par exemple (effet du mil sur le passage à l'état échangeable du calcium du sol).

L'analyse de ces bilans, notamment celui du potassium fortement déficitaire en absence de restitution organique, permet d'expliquer la vitesse de dégradation accrue observée dans les systèmes à future minérale seule.

Mais il faut faire intervenir l'évolution organique du sol et le bilan azoté du système pour comprendre que, même dans le meilleur des cas (fumure organo-minérale forte), la fertilité semble chuter.

C'est certainement le problème le plus préoccupant auquel nous avons à faire face pour assurer le maintien de la fertilité de ce système mil-sol sableux. En effet, nous constatons que, malgré l'apport (en deux fois) de 16 t/ha de matière sèche (Paille de mil à 0,5 % d'azote), les stocks initiaux de carbone et d'azote du sol ne sont pas maintenus. Certes le développement médiocre de l'arachide dans notre expérimentation a dû largement contribuer à rendre négatif le bilan azoté du système.

Mais il n'en reste pas moins vrai que les fortes quantités de matière organique apportées ont véritablement été "brûlées" au sein du système,, en ne laissant sur place qu'un résidu minéral. Que l'on ait ou non enfoui de la paille, les taux de carbone et d'azote total du sol ont chuté de 25 % après cinq années de culture.

C'est ainsi que si l'enfouissement de paille de mil apparaît intéressant à plusieurs égards (amélioration des rendements, maintien du statut cationique du sol), il n'est pas satisfaisant du point de vue du maintien du stock de matière organique des sols sableux, constituant qui conditionne pourtant l'essentiel de propriétés physico-chimiques et biologiques de ces sols.

Aussi il apparaît en dernière analyse que le problème, de loin le plus important que l'on ait à résoudre pour assurer le maintien de la fertilité du système mil-sol sableux en conditions de culture intensive, est celui de l'évolution de la matière organique des sols. Cela suppose d'une part que l'on recherche quelles sont les causes et les conditions de la stabilisation de cette matière organique pré-existante ou apportée dans les sols et, d'autre part, que l'on voit dans la pratique comment il est possible de transformer et de valoriser les résidus organiques de la production agricole pour véritablement amender les sols sableux sous climat semi-aride.

+

+ +

En conclusion le système mil-sol sableux, si répandu en Afrique au sud du Sahara, présente de très réelles possibilités d'intensification.

Les techniques culturales et la fertilisation sont des moyens puissants pour aboutir à cet accroissement de productivité.

A ce titre, la fumure potassique apparaît moins comme un facteur d'accroissement des rendements du mil que comme un facteur de stabilisation de la production en conditions semi-arides.

Cependant une telle intensification suppose que l'on se préoccupe du maintien de la fertilité du système qui, en définitive, est largement dépendant du statut azoté et de l'évolution de la matière organique de ces sols sableux.

REMERCIEMENTS

Cette synthèse n'a été rendue possible qu'avec le concours de plusieurs.

Mes remerciements vont tout d'abord à R. TOURTE, C. CHARREAU et R. NICOU qui ont été à l'origine de ce programme et à J. PICHOT qui m'a aidé à en définir le support expérimental.

De 1973 à 1978, j'ai pu constamment compter sur l'appui de mes camarades du CNRA de BAMBEY et, notamment, S. DIATTA, F. GANRY, J.P.N'DIAYE, P. SIBAND, J. WEY, avec qui j'avais des échanges constants et qui m'ont aidé dans la critique et l'interprétation de ces résultats.

J'adresse des remerciements tout particuliers à ceux qui ont eu la lourde charge de réaliser aux champs les essais, A. CISSOKO et M. GOUDIABY, et d'y effectuer de nombreuses observations et mesures avec le concours de M. N'DOYE, M. K. THIAW, B. KOUMBRAIT.

Ils ont aussi alimenté régulièrement les laboratoires d'analyses de Bambey d'une multitude d'échantillons de plante, de terre et d'eaux qui ont fait l'objet de maintes extractions et maints dosages. Que R. OLIVER et l'ensemble du personnel des laboratoires de Bambey trouvent ici l'expression de ma sincère gratitude pour l'ampleur et la qualité de leur travail.

Mes remerciements s'adressent enfin à mes collègues du Service de Méthodologie et de la Division d'Agronomie de l'IRAT à Montpellier qui m'ont aidé et conseillé dans l'interprétation et la rédaction de ces résultats. Je n'oublierai pas enfin Mme BONDOUX qui, avec dextérité, a transformé le volumineux manuscrit que je lui ai remis en un document qui aura au moins, pour le lecteur, l'attrait d'une bonne présentation.

BIBLIOGRAPHIE CITEE

BENNETT (O.L.); DOSS (B.D.); ASHLEY (D.A.); KILMER (U.J.); RICHARDSON (E.C.), 1964
Effects of soil moisture regime on yield, nutrient content and evapotranspiration for three annual forage species.

Agronomy Journal (1964) 56, p. 195-198

BONFILS (P.); FAURE (J.), 1955

Etude comparative des sols du CRA de Bambey.

Ann. du CRA de Bambey, 1955

BOYER (J.), 1973

Comportement du potassium dans les sols tropicaux cultivés.

C.R. 10ème Coll. Inst. Int. Potasse, Abidjan, p. 83-102

CHARREAU (C.); NICOU (R.), 1971

L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche ouest-africaine et ses incidences agronomiques.

Agro. Trop., Bull. Agro. N° 23

DANCETTE (C.), 1979

Agroclimatologie appliquée à l'économie de l'eau en zone soudano-sahélienne.

(A paraître dans Agro. Trop.)

FRANQUIN (P.) ; FOREST (F.), 1977

Des programmes pour l'évaluation et l'analyse fréquentielle des termes du bilan hydrique.

Agro. Trop., vol. xxxii, N°1, p. 7-11

FRITZ (J.), 1973

Fertilisation potassique de la canne à sucre et de Chloris gayana à la Réunion.

Agro. Trop. N° 11, p. 1035-1048

GANRY (F.); GUIRAUD (G.) ; DOMMERGUES (Y.), 1978

Effect of straw incorporation on the yield and nitrogen balance in the sandy soil pearl millet cropping system of Senegal

Plant and Soil 50, p. 647-662

GANRY (F.); WEY (J.), 1976

Action du fractionnement de l'azote et de la date d'inoculation sur la fixation symbiotique et le rendement de l'arachide.

Prog. coord. sur l'utilisation des isotopes dans l'étude des légumineuses A.I.E.A./ISRA, CNRA Bambey, Doc.mult. 15 p.

GILLIER (P.); GAUTEREAU (J.), 1971

Dix ans d'expérimentation dans la zone à carence potassique de Patar au Sénégal.

Oléagineux, 27ème année, N°1, p. 33-38

HAMON (G.), 1978

Caractérisation hydrodynamique in situ de deux sols de culture de la région Centre-Nord du Sénégal.

Doc. mult. ISRA, CNRA Bambey

HEATHCOTE (A.), 1971

The effects of potassium and trace elements on yields in Northern Nigeria.

DAU/STRC, Dakar (Sénégal), 26-29 juillet 1971

JONES (M.J.), 1976

The significance of crop residues to the maintenance of fertility under continuous cultivation at Samaru, Nigeria.

J. Agric. Sci. Camb., 86, p. 117-125

KOUMBRAIT (B.), 1977

Rapport de stage.

ISRA, CNRA Bambey, Doc. multi., 24 p.

NICOU (R.); CHOPART (J-L.), 1977

Les techniques d'économie de l'eau dans les sols sableux du Sénégal.
coll. Ibadan, déc.1977 "Rôle des propriétés physiques des sols dans
l'entretien de la fertilité des sols tropicaux".

✓ PICHOT (J.); BURDIN (S.); CHAROY (J.); NABOS (J.), 1974

L'enfouissement des pailles de mil Pennisetum dans les sols sableux dunai-
res. Son influence sur les rendements et la nutrition minérale du mil. Son
action sur les caractéristiques chimiques du sol et la dynamique de l'azote
minéral.

Agr. Trop., N° 29, p. 995-1005

PIERI (C.), 1977

Minéralogie et propriétés de surface de deux sols sableux du Sénégal.

Agr. Trop., vol.32, N°4, p. 339-351

PIERI (C.), 1979

Etude de la composition de la solution d'un sol sableux cultivé du Sénégal
à l'aide de capteurs en céramique poreuse.

Agr. Trop., vol.34, N°1, p. 9-22

PIERI (C.); GANRY (F.); SIBAND (P.), 1978

Proposition pour une interprétation agro-économique des essais d'engrais.
Exemple des fumure azotée et potassique du mil au Sénégal.

Agr. Trop., vol.33, N°1, p. 32-39

POCHIER (G.), 1976

Expérimentation multilocale. Résultats de la campagne 1975-1976.

Doc. multi. ISRA, CNRA Bambey

POULAIN (J-F.); ARRIVETS (J.), 1971

Effet des principaux éléments fertilisants autres que l'azote sur les rendements des cultures vivrières d'Ibasse, sorgho, mil, maïs au Sénégal et en Haute-Volta.

Séminaire C.S.T.R./O.U.A., Dakar

RAMOND (C.), 1968

Pour une meilleure connaissance de la croissance et du développement des mils Pennisetum.

Agr. Trop., N°8, p. 844-863

ROOSE (E.); HENRY DES TUREAUX (P.), 1970

Deux méthodes de mesure du drainage vertical dans un sol en place.

Agr. Trop., vol.XXV, N°12, p. 109-1087

TOURTE (R.) ; VIDAL (P.) ; JACQUINOT (L.) ; FAUCHER (J.) ; NICOU (R.), 1964

Bilan d'une rotation quadriennale sur sole de régénération au Sénégal.

Agr. Trop., vol XXII, p. 1033-1042

TOURTE (R.) et coll., 1971

Thèmes légers - Thèmes lourds, systèmes intensifs. Voies différentes ouvertes au développement agricole du Sénégal.

Agr. Trop., vol.XXVI, N°5, p. 63-671

VELLY (J.), 1972

Fertilisation potassique des sols tropicaux:.

Doc. multi. 20 p., Coll. Sols Tropicaux IITA-IRAT, Ibadan 22-26 mai 1972

VIDAL (P.), 1963

Croissance et nutrition minérale des mils (*Pennisetum*) cultivés au Sénégal.

Thèse de Docteur-Ingénieur, Fac. Sci.Univ. de Dakar

WIKLANDER (L.), 1974

Leaching of plant nutrients in soils. 1. General principles.

Acta Agriculture Scandinavia 24, P. 349-356

WILD (A.), 1971

The potassium status of soils in the savana zone of Nigeria.

Zxper. Agric. 7, 3 , p. 257-270

ANNEXE 1 : Réponse du mil Pennisetum à la
fumure potassique
(Bambey 1973-1977)

Année	Pluie utile mm	Rendement grain kg/ha	Rendement paille k/ha	Ren ^{dt} battage %	Nombre d'épis/ha	Poids grain/ épi en g	% dans les pailles à la récolte					
							K	N	P	Ca	Mg	
1973	406	[Série 1]										
		1 705 (0)	5 957	-	52 527	32,3	1,90	0,42	0,07	0,46	0,33	
		2 448 (K0)	8 502	-	66 060	37,1	2,04	0,44	0,07	0,38	0,32	
		2 537 (K30)	8 633	-	71 044	35,7						
		2 439 (K60)	7 910	-	67 542	36,1						
		2 463 (K90)	8 805	-	68 585	35,9						
1974	502	(Série 2)										
		1 283	4 482	62,2	45 1 ^{er} 4	28,4	1,8	0,52	0,17	0,36	0,44	
		2 431	7 950	63,4	65 432	37,2	1,78	0,41	0,06	0,30	0,35	
		2 468	8 005	64,2	64 933	38,0						
		2 569	8 181	64,3	67 003	38,3						
		2 583	8 955	65,0	66 920	38,6						
1975	573 forte attaque de cri- quets ayant détruit les feuil- les le 29 juillet	(Série 1)										Si O ₂ %
		1 049	2 353	64,4	38 654	27,1	0,98	0,56	0,11	0,37	0,43	1,37
		1 987(*)	4 167	67,9	50 448	37,4	0,73	0,58	0,13	0,38	0,36	1,02
		2 238	5 310	68,3	54 040	41,4	1,23	0,46	0,11	0,35	0,29	0,82
		2 363	8 115(*)	69,1 (*)	52 111 (*)	45,0 (+)		0,51	0,11	0,36	0,28	0,87
		2 450	6 535	68,0	53 315	45,5	1,66	0,48	0,11	0,33	0,28	1,18
		1 089	2 393	66,8	36 922	29,5	1,73	0,56	0,11	0,36	0,35	1,35
		2 383(*)	5 669	69,1	54 322	43,5	1,03	0,50	0,10	0,36	0,42	1,40
		2 756	7 428	68,9	63 6136	43,3	1,67	0,52	0,11	0,34	0,35	1,02
		2 897	7 700(*)	69,1	64 250 (*)	45,1 (+)	1,71	0,52	0,13	0,35	0,30	0,87
	2 999	8 195	70,2	67 508	44,4	1,76	0,45	0,10	0,27	0,26	0,70	
1976	103 la fumu- re n'est pas tée à 82,5 k/h	[Série 21]										
		1 287	3 460	67,3	319 394	32,7	2,00	0,68	0,06	0,49	0,39	
		2 432	6 517	68,0	62 290	39,0	1,53	0,54	0,09	0,52	0,38	
		2 759	7 443	68,4	58 923	46,8	1,89	0,42	0,05	0,41	0,25	
		2 068	4 016	72,4	62 290	42,8	2,08	0,49	0,07	0,42	0,27	
		2 592	8 369	68,7	64 310	40,3	2,46	0,53	0,08	0,36	0,26	
		1 386	3 728	68,6	319 931	34,9	2,3	0,58	0,07	0,45	0,38	
		2 555	7 079	67,7	61 953	41,2	1,97	0,48	0,07	0,36	0,29	
		2 736	4 137	68,6	62 963	43,4	2,01	0,53	0,06	0,45	0,35	
		2 911	8 747	70,9	64 310	45,3	2,00	0,48	0,07	0,38	0,29	
	2 718	8 807	68,2	59 596	45,6	2,51	0,39	0,07	0,27	0,23		
1977	391	(Série 1)										
		1 364	3 211	68,9	35 575	29,9	1,75	0,52	0,07	0,54	0,35	
		2 031	4 695	71,4	57 461	35,4	1,00	0,65	0,13	0,59	0,28	
		2 444	6 694	68,9	61 333	39,9	1,52	0,62	0,14	0,47	0,29	
		2 524	7 349	69,1	62 458	40,4	2,13	0,60	0,12	0,53	0,31	
		2 486	7 956	69,8	61 784	40,2	2,45	0,64	0,19	0,45	0,29	
		1 132	3 561	71,0	319 842	28,4	1,78	0,66	0,08	0,53	0,39	
		2 510	6 151	69,0	66 498	37,8	1,54	0,65	0,14	0,54	0,39	
		2 654	7 765	68,2	69 582	38,1	1,89	0,75	0,14	0,47	0,30	
		2 695	4 068	69,2	67 375 (*)	40,0 (*)	2,40	0,59	0,25	0,54	0,23	
	2 650	8 212	69,3	66 835	39,7	2,60	0,52	0,24	0,53	0,32		

ANNEXE II : Evolution de la taille (hors tout) d'un
mil **Souna** 1 II recevant des doses croissantes
de potasse (Bambey 1977)

TAILLE MOYENNE (33 plants) en cm

jours traitements	22/7	29/7	8/8	13/8	16/8	19/8	22/8	25/8	29/8	3/9	9/9
	abs. 12è j	19è j	29è j	34è j	37è j	40è j	43è j	46è j	50è j	55è j	60è j
1	21,58	39,78	74,41	84,00	91,53	104,31	125,00	148,28	173,94	199,72	209,94
2 K ₀	24,64	39,82	69,58	77,00	81,97	96,94	117,24	139,30	164,18	188,82	212,33
3 K ₃₀	29,90	55,60	82,62	92,83	100,10	115,87	144,94	171,35	205,32	229,97	251,10
4 K ₆₀	27,87	56,54	81,57	89,62	98,86	113,55	139,79	173,21	205,14	231,31	251,47
5 K ₉₀	30,94	49,70	78,67	85,55	93,09	106,64	130,82	159,67	189,09	217,36	248,61
6	22,12	40,19	70,79	80,12	89,82	96,76	115,09	138,12	163,91	189,52	210,67
7 K ₀	28,64	54,22	80,41	90,44	99,22	117,34	145,25	172,91	199,66	226,59	249,81
8 K ₃₀	35,50	62,63	84,17	88,74	99,32	116,16	146,44	175,09	204,88	232,28	253,16
9 K ₆₀	36,97	65,60	87,50	93,31	101,87	117,90	149,23	178,34	210,65	234,77	257,82
10 K ₉₀	35,76	53,08	76,25	81,45	87,21	101,39	133,90	154,00	180,45	209,12	237,94

ANNEXE III : Réponse de l'arachide à la fumure
potassique (Bambey 1973-1977)

Année	Pluviosité mm	Rendement gous- ses	Rendement paille	% de N %	les far- P %	à la r- K %	olte Ca %	Mg %
1973	402	1 810 Effet K N.S.	2 665 Effet K quadratique	1,58	0,11	1,31	1,4	0,8
		K ₀ 2 789		1,53	0,10	1,39	1,05	0,7
		K ₃₀ 3 082				1,65	1,10	0,7
		K ₆₀ 3 056		1,69	0,11	1,60	1,13	0,7
		K ₉₀ 2 969				1,25	1,14	0,7
1974 (Série 1)	504	1 515 1 537 1 565 1 554 1 646 1 537 1 792 1 920 1 716 1 866	979 1 077 1 095 1 233 1 236 1 082 1 323 1 662 1 406 1 634	1,33	0,19	1,38	1,21	0,44
				1,45	0,25	1,55	1,11	0,44
1975	574	1 183 Effet quadratique	1 051 Effet K linéaire	1,16	0,15	0,90	0,95	0,58
		1 067 1 561 1 335 1 211	920 1 478 1 491 1 713	1,50 1,26 1,21 1,40	0,24 0,16 0,13 0,23	0,76 0,04 0,68 0,12	0,94 0,99 0,90 0,86	0,50 0,47 0,24 0,22
		1 618 Effet paille S	1 327 Effet paille S	1,23	0,14	1,26	0,92	0,55
		1 962 2 067 1 668 1 596	1 670 1 706 1 944 2 236	1,41 1,40 1,38 1,07	0,13 0,10 0,13 0,12	0,95 1,79 1,78 1,89	0,96 0,93 0,85 0,85	0,56 0,49 0,29 0,21
1976 (Série 1)	403	828 783 979 957 1 041 1 111 1 182 1 254 1 233 1 244	912 932 1 071 1 230 1 364 1 192 1 376 1 557 1 534 1 699	2,19 1,98 1,89 2,25 2,07	0,26 0,20 0,24 0,24 0,19	1,09 1,67 1,38 2,22 2,49	1,44 1,40 1,57 1,50 1,41	0,62 0,49 0,50 0,37 0,33
				2,04	0,21	1,32	1,43	0,55
				1,90	0,16	1,41	1,55	0,65
				1,77	0,20	2,43	1,38	0,52
				1,78	0,18	2,63	1,30	0,37
				1,85	0,20	2,55	1,32	0,48
1977 (*)	383 (dont 42 après récol- te)	1 594 Effet K N.S.	1 108 Effet K linéaire	1,72	0,13	0,82	1,01	0,57
		1 700	1 139 1 271	2,00 1,42	0,18 0,13	0,95 1,33	1,13 1,00	0,52 0,48
		Effet Paille + THS	1 504 1 576	1,69 1,71	0,16 0,17	1,46 1,84	1,01 1,07	0,32 0,37
		2 334	1 466 Effet Paille S	1,70	0,11	1,35	1,04	0,48
		2 153	1 638 1 808 1 077 2 077	1,98 1,83 1,76 1,88	0,16 0,14 0,14 0,15	1,43 1,26 1,93 2,14	1,06 1,041 1,02 1,02	0,56 0,55 0,44 0,37

ANNEXE IV

CALCUL DES BILANS MINERAUX

(1973 - 1976)

DOCUMENT 1 : PERTES PAR LIXIVIATION

A) Calcul des bilans hydriques efficaces

B) Evaluation des **pertes** minérales

DOCUMENT 2 : APPORTS MINERAUX PAR LES EAUX DE PLUIE

DOCUMENT 3 : RESULTATS

A) Bilan du potassium

B) Bilan du calcium

C) Bilan apparent de l'azote

(CALCUL DES BILANS MINÉRAUX)

DOCUMENT 1 :

LIQUIDES PAR	IMMERSION 1
--------------	--------------------

A - Calcul des bilans hydriques efficaces

B - Evaluation des pertes minérales

A-

CALCUL DES BILANS HYDRIQUES EFFICACES POUR LA PERIODE -1973 1976

Ce calcul a été établi en application du modèle mis au point par P. Franquin et F. Forest (1977) et à l'aide des paramètres bioclimatiques fournis par C. Dancette (1979).

Définitions :

P_i = Pluviométrie au cours de la pentade i

OGE_i = Offre globale en eau, $OGE_i = P_i + R S_i - 1$

RS_i = Réserve en eau dans 180 cm de sol

ETM_i = Besoins de la culture durant la pentade (cf. C.Dancette)

ETR_i = Consommation réelle du mil

DR_i = Percolation au-delà de 180 cm, qui se produit :Lorsque RS_i est supérieure à la réserve en eau maximale sur cette profondeur de sol

Données hydro-climatiques de base :

La réserve en eau maximale dans un sol Dior très sableux est de 50 mm/m (Hamon, 1978), soit 90 mm sur 180 cm.

Les besoins en eau d'un mil de 90 jours (Souma III), en 1973 et 1975, ont été les suivants :

	<u>ETR en mm/jour</u>	
	<u>1973</u>	<u>1975</u>
- de la levée au 15ème jour :	2,6	2,3
- du 16ème jour au 30è " :	4,1	3,6
- du 31 " " au 45è " :	6,8	6,1
- du 46 " " au 60è " :	6,8	6,1
- du 61 " " au 75è " :	4,9	4,4
- du 76 " " au 90è " :	4,0	3,6

Les besoins en eau d'une variété d'arachide de 105 jours (variété 57-422) en 1974 et 1976 ont été les suivants

		<u>ETR en mm/jour</u>	
		<u>1974</u>	<u>1976</u>
- de la levée au 15ème jour		1,8	1,7
- du 16è jour au 30è	" :	4,0	3,7
- du 31è " au 45è	" :	5,2	4,8
- du 46è " au 60è	" :	6,0	5,5
- du 61è " au 75è	" :	5,0	4,6
- du 76è " au 90è	" :	5,7	5,2
- du 90è " au 105è	" :	7,0	6,4

Par comparaison avec d'autres situations semblables, on a estimé à 20 mm le stock d'eau résiduel dans les 180 cm du sol Dior étudié en début de saison des pluies 1973 (jachère à très faible densité en 71 et 72).

Résultats :

Les calculs décrits dans les tableaux suivants donnent finalement les informations suivantes :

<u>Année</u>	<u>Pluie utile mm</u>	<u>Consommation par la culture, mm</u>	<u>Drainage mm</u>	<u>Stock résiduel mm</u>
1973	406,1	423,5	0	0
1974	501,6	356,6	145,0	0
1975	572,9	391,5	109,5	71,9
1976	390,8	427,8	23,0	0

BILAN HYDRIQUE EFFICACE

Localisation : BAMBEY, sole 1 Sud

Année : 1973

Culture : Mil Souna III

Levéé : 4 juillet

Récolte : 1er octobre

Rendement moyen : 2 318 k/ha de grain

Période	P _i	OGE _i	ETM _i	ETR _i	RS _i	DR _i
avant 1er juillet					20	
2 - 6 juillet	27,0	47	13	13	34	
7 - 11	27,6	61,6	13	13	48,6	
12 - 16	0	48,6	13	13	35,6	
17 - 21	0	35,6	20,5	20,5	15,1	
22 - 26	0	15,1	20,5	15,1	0	
27 - 31	15,8	15,8	20,5	15,8	0	
1er août						
- 5	66,0	66	34	34	32	
6 - 10	17,1	49,1	34	34	15,1	
11 - 15	4,5	19,6	34	19,6	0	
16 - 20	97,7	97,7	34	34	63,7	
21 - 25	28,4	92,1	34	34	58,1	
26 - 30	0	58,1	34	34	24,1	
31 août						
- 4 sept.	38,0	62,1	24,5	24,5	37,6	
5 - 9	32,0	69,6	24,5	24,5	45,1	
10 - 14	9,2	54,3	24,5	24,5	29,8	
15 - 19	22,0	51,8	20	20	31,8	
20 - 24	19,0	50,8	20	20	30,8	
25 - 29	0	30,8	20	20	10,8	
30 sept.						
- 4 oct.	1,8	12,6	10	10	2,6	
Bilan	406,1			423,5	0	0

BILAN HYDRIQUE EFFICACE

Localisation : BAMBEY, sole 1 Sud

Année : 1974

Culture : Arachide, 57-422

Semis : 4 juillet
Récolte : 20 octobre
Rendement moyen : 1 665 kg/ha de gousses

PERIODE	P _i	OGE _i	ETM _i	ETR _i	Rs _i	DR _i
Avant le 14 juillet					0	
14 - 19	61,9	61,9	9	9	52,9	
20 - 24	Or7	53,6	9	9	44,6	
25 - 30	20,7	65,3	9	9	56,3	
31 - 4 août	23,2	79,5	20	20	59,5	
5 - 9	157,7	217,2	20	20	90	<u>107,2</u>
10 - 14	15,6	105,6	20	20	85,6	
15 - 19	13,0	98,6	26	26	72,6	
20 - 24	77,8	150,4	26	26	90	<u>34,4</u>
25 - 29	29,4	119,4	26	26	90	<u>3,4</u>
30 août						
- 3 sept.	21,2	111,2	30	30	81,2	
4 - 8	8,6	89,8	30	30	59,8	
9 - 13	13,0	72,8	30	30	42,8	
14 - 18	4,6	47,4	25	25	22,4	
19 - 23	17,0	39,4	25	25	14,4	
24 - 28	15,4	29,8	25	25	4,8	
29 septembre						
- 3 oct.	11,8	16,6	28,5	16,6	0	
4 - 8	0	0	28,5	0	0	
9 - 13	10,0	10	28,5	10	0	
14 - 18	0	0	35,0	0	0	
19 - 23	0	0	35,0	0	0	
BILAN	50 ,6			356,6	0	145,0

BILAN HYDRIQUE EFFICACE

Localisation : BAMBEY, sole 1 Sud

Année : 1975

Culture : Mil Souna III

Levée : 9 juillet
 Récolte : 20 octobre
 Rendement moyen : 2 211kg/ha de grain

PERIODE	P _i	OGE _i	ETM _i	ETR _i	RS _i	DR _i
Avant le 5 juillet				- - -	0	
5 - 9 juillet	12,6	12,6	11,5	11,5	1,1	
10 - 14	16,8	17,9	11,5	11,5	6,4	
15 - 19	5,7	12,1	11,5	11,5	0,6	
20 - 24	22,7	23,3	18	18	5,3 _a	
25 - 29	76,0	81,3	18	18	63,3	
30 juillet						
- 3 août	31,1	94,4	18	18	76,4	
4 - 8	31,8	108,2	30,5	30,5	77,7	
9 - 13	0,6	78,3	30,5	30,5	47, a	
14 - 18	23,0	70,8	30,5	30,5	40,3	
19 - 23	96,3	136,6	30,5	30,5	90	<u>16,1</u>
24 - 28	45,5	135,5	30,5	30,5	90	<u>15,0</u>
29 août						
- 2 sept.	80,0	170	30,5	30,5	90	<u>49,5</u>
3 - 7	12,9	102,9	22	22	80,9	
8 - 12	33,0	113,9	22	22	90	<u>1,9</u>
13 - 17	49,0	139	22	22	90	<u>27,0</u>
18 - 22	0	90	18	18	72	
23 - 27	29,5	101,5	18	1a	83,5	
28 septembre						
- 2 oct.	0,4	83,9	18	18	65,9	
3 - 7	6,0	71,9			71,9	
8 - 12	0					
BILAN	572,9			391,5	(71,9)	109,5

BILAN HYDRIQUE EFFICACE

Localisation : BAMBEY, sole 1 Sud

Année : 1976

Culture : Arachide, 57-422

Semis : 10 juillet
Récolte : 11 octobre
Rendement moyen : 1 104 kg/ha de gousse

PERIODE	P _i	OGE _i	ETM _i	ETR _i	RS _i	DR _i
Avant le 10 juillet					60	
10 - 14 juillet	11,3	71,3	8,5	8,5	62,8	
15 - 19	11,9	74,7	8,5	8,5	66,2	
20 - 24	7,7	73,9	8,5	8,5	65,4	
25 - 29	64,1	129,5	18,5	18,5	90	<u>21,0</u>
30 juillet						
- 3 août	1,2	91,2	18,5	18,5	72,7	
4 - 8	35,0	107,7	18,5	18,5	89,2	
9 - 13	26,8	116,0	24,0	24	90	<u>2,0</u>
14 - 18	13,3	103,3	24,0	24	79,3	
19 - 23	7,7	87	24,0	24	63	
24 - 28	23,7	86,7	27,5	27,5	59,2	
29 août						
- 2 sept.	19,0	78,2	27,5	27,5	50,7	
3 - 7	2,3	53,0	27,5	27,5	25,5	
8 - 12	6,8	32,3	23,0	23,0	9,3	
13 - 17	97,4	106,7	23,0	23,0	83,7	
18 - 22	9,3	93	23,0	23	70,0	
23 - 27	23,8	93,8	26,0	26	67,8	
28 septembre						
- 2 octobre	6,0	73,8	26,0	26	47,8	
3 - 7	23,5	71,3	26,0	26	45,3	
8 - 12	0	45,3	32,0	32	13,3	
13 - 17	0	13,3	32,0	32,3	0	
BILAN	390,8			427,8		23,0

B-

EVALUATION DES PERTES MINERALES PAR LIXIVIATION
DANS UN SOL DIOR DE BAMBEY
AU COURS DE LA PERIODE 1973 - 1976

1 - OBJECTIF

Mesurer les quantités d'éléments minéraux entraînés dans la solution du sol au-delà de la cote - 180 cm (profondeur maximale de l'enracinement du mil Pennisetum), en se plaçant dans les mêmes conditions que celles de l'essai sur la fertilisation potassique du mil (et de l'arachide).

2 - DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Ce dispositif a été implanté au cours de la saison sèche 1973 sur trois parcelles de 15 m x 17 m, localisées entre les deux séries de l'essai "Potasse x Paille" de Bambey.

Chaque parcelle contient 3 lysimètres installés sur colonnes de sol non remanié, selon un procédé mis au point et décrit par E. Roose.

Ces 9 lysimètres ont les caractéristiques suivantes :

- le haut du lysimètre est situé à 30 cm sous la surface du sol qui peut ainsi être labouré et recevoir des enfouissements de paille comme le reste de l'essai
- le lysimètre est cylindrique, de section $0,5 \text{ m}^2$ et de hauteur égale à 150 cm.
- les solutions de drainage collectées par gravité dans une fosse centrale correspondent donc au flux hydrique traversant la cote - 180 cm.

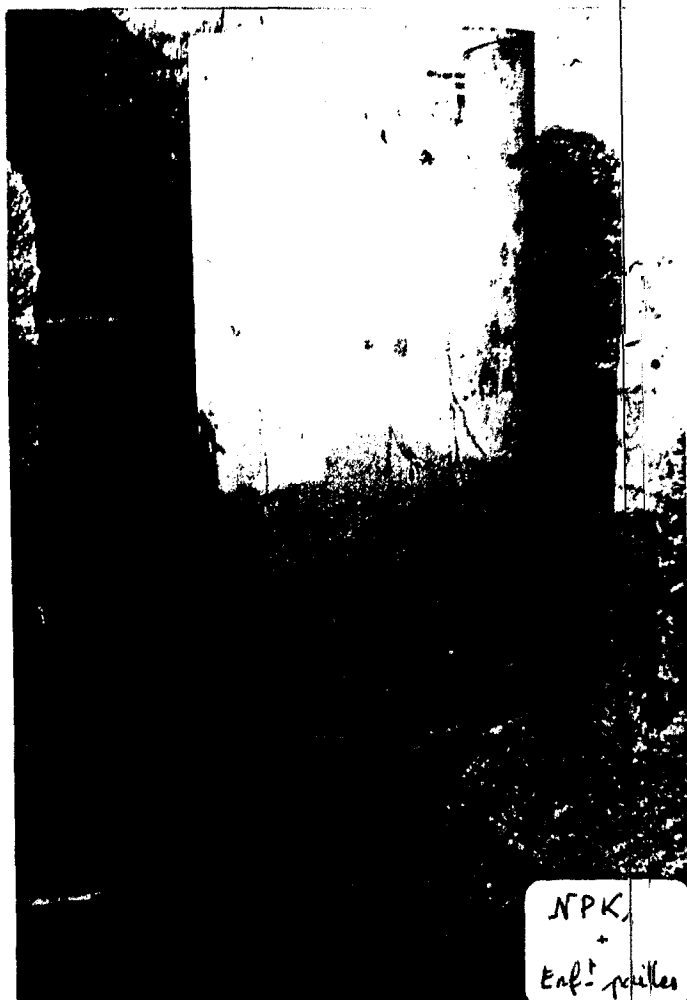
Ces trois parcelles sont cultivées dans les mêmes conditions que celles de l'essai d'engrais (succession mil-arachide) dont elles reproduisent les trois traitements suivants :

- fumure annuelle NPK_{30} + restitution par enfouissement des pailles de mil récoltées sur la parcelle
- fumure annuelle NPK_{90}
- fumure annuelle NPK_{90} + restitution par enfouissement des pailles de mil récoltées sur la parcelle

3 - RESULTATS

3.1 - Contrôle de fonctionnement du dispositif

La réalisation pratique d'un tel dispositif en sol très sableux présente de nombreuses difficultés : travaux de terrassement considérables, impossibilité pratique, dans certains cas, d'enfoncer en force le cylindre métallique qui entoure la colonne de terre sèche "sculptée". Il a fallu, en conséquence, pour quelques lysimètres, mouiller la terre de façon à réduire le frottement cylindre-colonne et aboutir au résultat final illustré par la photographie ci-jointe.



Quarante à cinquante litres d'une eau contenant 90 mg/l de Ca, 50 mg/l de Mg, 120 mg/l de Na et 1 mg/l de K (sous formes de carbonates, chlorures et sulfates) ont ainsi été apportés.

Pour cette raison et à cause des perturbations de sol liées au terrassement (bien que les couches de sol aient été remises dans l'ordre initial), les résultats obtenus au cours des deux premières campagnes de mesure n'ont pas été jugés valables. Ce n'est qu'à partir de 1975 que l'on peut considérer le dispositif comme fonctionnel. Des prélèvements journaliers des solutions de drainage ont été alors réalisés avec détermination mensuelle du bilan ionique complet.

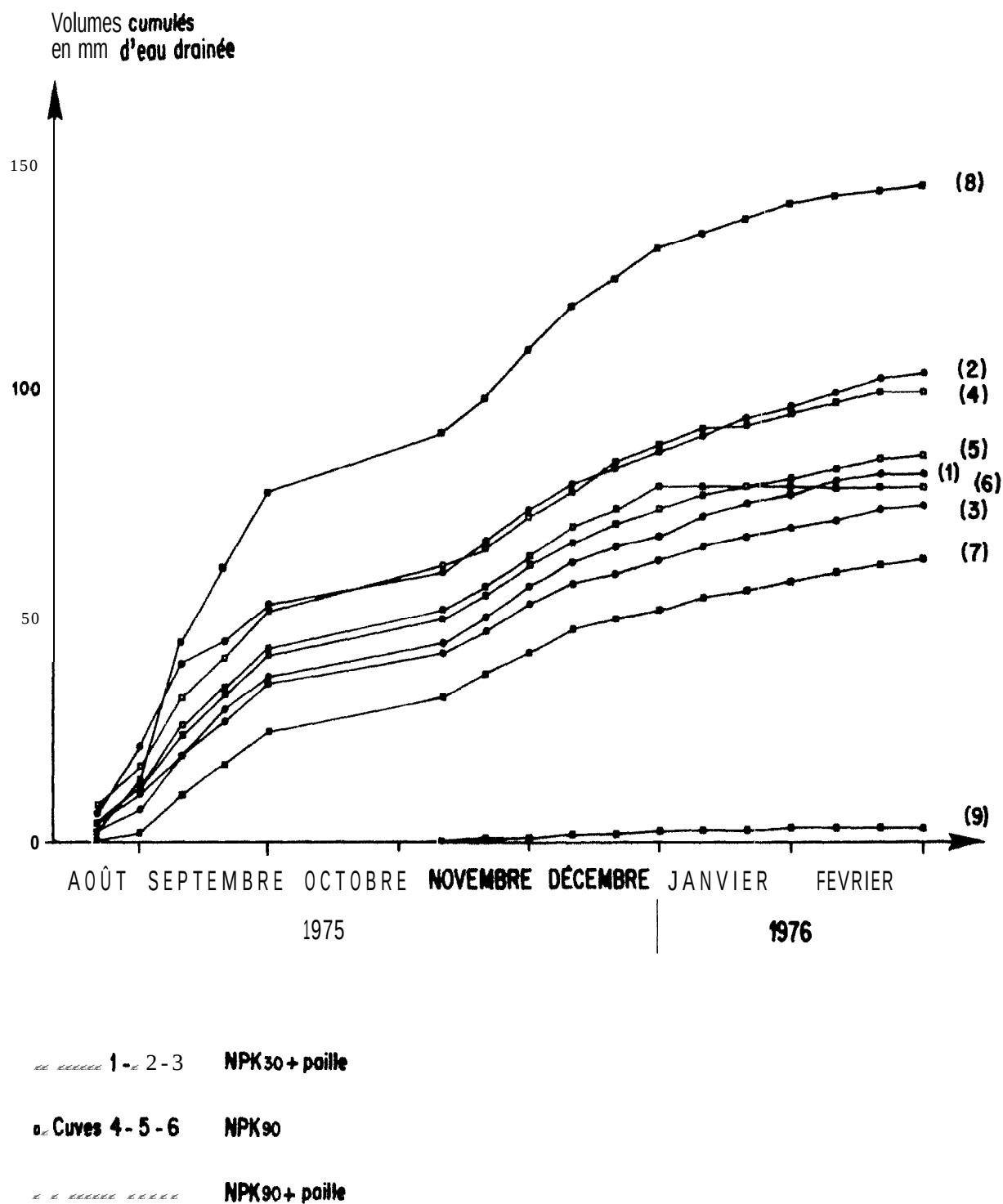


FIGURE 1 : Volumes **cumulés** des solutions de drainage recueillies en **1975 à Bambsy**. Profondeur 180 cm.

3.2 - Cinétique de drainage des solutions de sol dans les lysimètres

Ces cinétiques sont illustrés par la figure 1 .

si l'on peut considérer que les lysimètres 1 à 6 (correspondant aux traitements NPK_{30} + Paille et NPK_{90}), ont des caractéristiques hydrodynamiques voisines, il n'en va pas de même avec les trois lysimètres installés sur la parcelle NPK_{90} + Paille (lysimètres 7, 8 et 9) qui ont un comportement hydrique aberrant. Le lysimètre N°9, en particulier, qui est installé en partie sur une termitière enfouie, n'a pratiquement pas drainé depuis son installation comme l'indique les résultats présentés dans le tableau 1

N° Lysimètre	<u>NPK_{30} + Paille</u>				<u>NPK_{90}</u>				<u>NPK_{90} + Paille</u>		
	1	2	3	Moy.	4	5	6	Moy.	7	8	9
<u>Année- Culture</u>											
1973 - Mil	0,9	14,5	71,9	-	25,5	33,1	7,0	-	0	7,8	0
1974 - Ar.	86,9	104,4	43,6	-	83,6	54,9	16,8	-	79,0	37,5	7,0
1975 - Mil	80,0	101,8	72,8	<u>84,9</u>	97,8	83,8	77,8	<u>86,5</u>	61,4	142,0	2,8
1976 - Ar.	16,1	26,4	6,4	<u>16,3</u>	18,6	21,5	16,2	<u>18,8</u>	6,8	34,2	16,1

Tableau 1 : Drainage annuel en mm dans les lysimètres de Bambey (1973-76)

Nous avons donc été conduit à écarter de l'interprétation des résultats ceux provenant des lysimètres 7, 8 et 9.

si l'on compare les drainages mesurés dans les 6 premiers lysimètres au cours des deux années de référence (1975 et 1976) avec les drainages calculés par la méthode du bilan hydrique efficace, on constate que :

- les valeurs sont assez voisines mais plus faibles (drainage calculé en 1975, 109,5 et 85,5 mm dans les lysimètres drainage calculé en 1976.23 mm et 17,6mm dans les lysimètres)
- le drainage dans les lysimètres se poursuit longtemps après l'arrêt des pluies, ce qui n'est pas appréciable par le calcul. Par contre, les dates de début de drainage sont bien celles trouvées par calcul = vers le 20 août en 1975, et vers le 25 juillet en 1976.

3.3 - Teneurs minérales des solutions du sol

3.3.1 - Valeurs moyennes annuelles

Les solutions ont été analysées au laboratoire de Bambey dès que les volumes recueillis furent suffisants. En 1975 on a procédé à 7 prélèvements pour analyse : les 23 août, 19 septembre, 31 octobre, 15 novembre, 11 décembre, puis, le 28 janvier 1976 et le 25 février 1976.

Au cours de l'hiver 1976, le drainage ayant été plus faible, les dosages n'ont été réalisés qu'à trois reprises : le 8 septembre, le 9 octobre et le 13 novembre.

Les concentrations moyennes en éléments minéraux de toutes les solutions de drainage recueillies au cours de ces deux campagnes expérimentales (y compris celles correspondant aux lysimètres défectueux installés sur la parcelle NPK₉₀ + Paille) sont données dans les tableaux II et III.

Concentrations en mg/l

	Ca	Mg	Na	K	S_iO_2	NO_3^-	Cl^-	SO_4^{--}	CO_3H^-	pH
<u>Traitements</u>										
NPK ₃₀ + Paille	39,4	13,2	23,3	5,9	12,3	0,3	48,8	25,2	111,2	7,5
NPK ₉₀	35,6	9,4	16,2	4,9	12,6	tr.	51,3	26,8	76,5	7,1
NPK ₉₀ + Paille	35,2	10,0	23,3	4,9	7,2	0,2	111,8	27,2	44,5	6,5

Tableau II : Concentrations minérales moyennes des solutions de drainage à Bambeï sous culture de mil (campagne 1975-76)

Concentrations en mg/l

	Ca	Mg	Na	K	S_iO_2	NO_3^-	Cl^-	SO_4^{--}	CO_3H^-	pH
<u>Traitements</u>										
NPK ₃₀ + Paille	22,5	5,8	8,3	3,0	15,1	17,8	7,5	3,0	75,5	7,8
NPK ₉₀	19,6	4,5	9,1	3,7	12,9	20,8	9,6	12,6	58,8	7,4
NPK ₉₀ + Paille	31,5	5,3	11,6	1,5	10,1	12,3	15,3	9,3	119,7	7,9

Tableau III : Concentrations minérales moyennes des solutions de drainage à Bambeï sous culture d'arachide (campagne 1975-76)

Ces résultats ne font pas ressortir, pour une année donnée, des différences significatives liées à la fumure appliquée au sol.

Par contre, d'un lysimètre à l'autre, quel que soit le traitement du sol, les concentrations minérales des solutions de drainage varient sensiblement. Voici à titre d'exemple, les valeurs moyennes obtenues pour les six lysimètres en 1975 :

	Traitement NPK ₃₀ + Paille			Traitement NPK ₉₀		
Lysimètre	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6
Ca mg/l	49,5	38,7	30,1	23,1	35,2	48,5
K mg/l	8,3	6,0	3,4	3,1	4,5	7,1

On constate, d'autre part, qu'au cours d'une campagne de mesures, les concentrations des solutions de drainage recueillies dans un même lysimètre varient, par contre, assez peu surtout en ce qui concerne les cations bivalents. Si l'on prend le cas du lysimètre N° 1 les résultats obtenus au cours de la campagne 1975-1976 ont été les suivants :

<u>Date de prélèvement</u>	<u>Volume drainé</u>	<u>Ca</u>	<u>K</u>
	1	mg/l	mg/l
29.8.75	3,4	54,1	12,1
19.9.75	11,2	46,4	8,8
31.10.75	3,7	53,8	4,2
15.11.75	4,9	48,5	9,7
11.12.75	7,6	48,5	8,4
28.1.76	6,7	52,0	7,3
25.2.76	2,3	48,8	5,8
	Moyenne	50,3	8,0
	C.V.	5,9 %	32,2 %

La dernière observation que l'on puisse faire enfin sur l'ensemble des résultats obtenus est qu'il ne sembla pas y avoir de relation entre les concentrations en éléments et les volumes d'eau drainée. En effet, pour tous

les lysimètres on peut constater qu'il y a une grande similitude entre :

- la moyenne des concentrations pour chaque élément, $\bar{x}_a = \frac{\text{Somme des concentrations}}{\text{Nombre de prélèvements}}$
- la moyenne pondérée des concentrations, $\% = \frac{\text{Quantité totale d'élément} \times \text{lixiviée}}{\text{Volume total de solution drainée}}$

Voici, à titre d'illustration, les concentrations moyennes en mg/l obtenues en 1975 selon ces deux modes de calcul :

	Traitement NPK ₃₀ + Paille		Traitement NPK ₉₀	
	$\bar{x}_a$	$\bar{x}_p$	$\bar{x}_a$	$\bar{x}_p$
Ca	39,4	39,4	35,0	35,6
Mg	13,4	13,2	9,3	9,4
Na	23,3	21,2	16,7	16,2
K	5,7	5,7	4,9	4,9

3.3.2 - Interprétation des résultats

Les résultats obtenus sont relativement imprécis et ne mettent pas en évidence un effet du type de fumure appliquée sur les concentrations de la solution du sol en profondeur. Ceci nous a conduit à utiliser par la suite (à partir de 1977) un nouveau dispositif de mesure de la concentration en solutés de la solution du sol qui s'est avérée plus efficace (capteurs en céramique poreuse, Piéri 1979).

Quoi qu'il en soit, deux conclusions semblent pouvoir être dégagées.

L'effet du type de culture semble plus important que l'effet de la fumure sur la composition de la solution du sol qui est :

- plus concentrée en cations bivalents sous culture de mil (1975)
- plus riche en nitrates sous arachide (1976)

On peut considérer que la composition des eaux de drainage en profondeur est relativement constante au cours d'un même cycle pluvial, et, en tous les cas, indépendants des volumes percolés. Tout se passe comme si la solution drainante se mettait en équilibre d'échange ionique avec les couches de terre traversées dont les caractéristiques physico-chimiques sont alors déterminantes de la composition de la solution recueillie (Wiklander 1974).

En conclusion, nous estimons que l'on peut retenir à l'heure actuelle les normes suivantes, en attendant les informations plus précises qui seront obtenues par les nouveaux dispositifs mis en place (capteurs de solution en céramique poreuse) :

- sous culture de mil en sol Dior, les teneurs minérales exprimées en mg/l de la solution drainante profonde (au-delà de 180 cm) sont :

Ca = 37,5 mg/l arrondi à 38 mg/l
Mg = 11,3 mg/l arrondi à 11 mg/l
K = 5,4 mg/l arrondi à 5 mg/l
NO₃ = néant

- sous culture d'arachide, ces teneurs sont :

Ca = 21,1 mg/l arrondi à 21 mg/l
Mg = 5,1 mg/l arrondi à 5 mg/l
K = 3,4 mg/l arrondi à 3 mg/l
NO₃ = 19,3 mg/l arrondi à 19 mg/l

Ces valeurs correspondent à la moyenne des concentrations données dans les tableaux II et II (sans tenir compte des lysimètres défectueux de la parcelle NPK₉₀ + Paille).

4 - EVALUATION DES PERTES MINÉRALES PAR LIXIVIATION AU COURS DE LA PÉRIODE 1973 - 1976

Cette évaluation est faite en tenant compte, d'une part, des concentrations en éléments présentes précédemment et, d'autre part, en évaluant le drainage à partir des volumes de solutions recueillies dans les lysimètres et des valeurs obtenues par calcul en application du modèle du bilan hydrique efficace. Quand ces deux valeurs sont disponibles (c'est à dire à partir de 1975), on en calcule la moyenne qui sert alors pour l'évaluation des pertes minérales

par lixiviation dont les résultats sont inscrits dans le tableau IV

ANNEE - CULTURE	Drainage à 180 cm en m ³ /ha			Pertes minérales en kg/ha			
	Lysimètre	calculé	Moyenne	Ca	Mg	K	NO ₃
1973 Mil		0	0	0	0	0	0
19'74 Arachide		1 450	1 450	30,5	7,2	4,4	27,6
1975 Mil	855	1 095	975	37,1	10,7	4,9	0
19'76 Arachide	176	230	203	4,3	1,0	0,6	3,9
- - - TOTAL		2 775	2 628	71,9 CaO <u>100,5</u>	18,9 <u>MgO</u> <u>31,4</u>	9,9 <u>K₂O</u> 11,8	31,5 <u>N</u> 7,1

Tableau IV : Pertes minérales par lixiviation dans un sol Dior cultivé
(Bambey 1973-76)

On constate que, d'après ce calcul, le sol Dior étudié, malgré une pluviométrie annuelle moyenne assez faible (469 mm), s'est tout de même sensiblement appauvri par lixiviation en quatre années de culture. Les pertes les plus fortes sont dues à l'entraînement en profondeur du calcium et du magnésium. Les pertes en azote minéral par ce processus sont très faibles et celles en potassium peu importantes.

Remerciements

Ces résultats n'auraient pu être obtenus sans le concours efficace de M. Aliou Cissoko qui est le principal artisan de l'installation très délicate de ce dispositif de mesure. Il en assure depuis la bonne marche avec le concours de Mamadou Goudiaby, puis de Mame Khemes Thiaw et de Moussa N'Doye. Que tous trouvent ici l'expression de mes sincères remerciements.

(CALCUL DES BILANS MINERAUX)

DOCUMENT 2 :

APPORTS MINERAUX PAR LES EAUX DE PLUIE
--

MESURE DES QUANTITES D'ELEMENTS MINERAUX APPORTEES
PAR LES EAUX DE PLUIE AU SENEGAL (1976-- 1978)

1 - OBJECTIF :

Les réserves minérales dans les sols très sableux du Sénégal sont faibles. A ce titre les apports, même réduits en valeur absolue, d'éléments minéraux solubilisés dans les eaux de pluie doivent être pris en considération dans l'évaluation du bilan minéral "entrée-sortie" de ces sols.

Ceci a été réalisé au cours de trois années (1976-78) en plusieurs lieux de pluviométrie très différente du Sénégal, de façon à apprécier l'importance effective de ces apports météoriques.

Seuls sont pris en considération les éléments hydrosolubles contenus dans les eaux de pluie, voire dans les aérosols (poussière) à l'exclusion des éléments contenus dans la phase solide de ces aérosols.

2 - DISPOSITIF :

Il a été installé dans les lieux suivants :

- N'Diol (région du fleuve Sénégal)
- Bambey (Centre-Nord)
- Nioro du Rip (Centre-Sud)
- Séfa (Moyenne Casamance)
- Djibelor - plateau (Casamance maritime)
- Djibelor - vallée (Casamance maritime)

Les prélèvements sont effectués à l'aide d'un pluviomètre en plastique de 24 cm de diamètre (surface de réception $452,4 \text{ cm}^2$)

Les eaux de pluie sont collectées dans un flacon de verre brun de 2 800 ml situé sous le pluviomètre

Une toile fine (moustiquaire plastique) et un tampon de coton hydrophile (régulièrement remplacé) sont placés dans le pluviomètre pour éviter les pollutions externes (insectes, poussière, etc...).

Le dispositif est installé sur un support à 1,50 m au-dessus du sol et loin de tout arbre ou construction.

Après chaque pluie, la solution recueillie est stabilisée à l'aide d'une goutte de formol.

Des prélèvements réguliers sont effectués et envoyés au laboratoire de Bambey pour détermination du bilan ionique complet :

	<u>Nombre de prélèvements analysés</u>		
	<u>1976</u>	<u>1977</u>	<u>1978</u>
N'Dior	4	5	4
Bambey	15	8	8
Nioro du Rip	8	7	9
Séfa	14	10	10
Djibélor 1	9	6	9
Djibélor 2	9	6	9

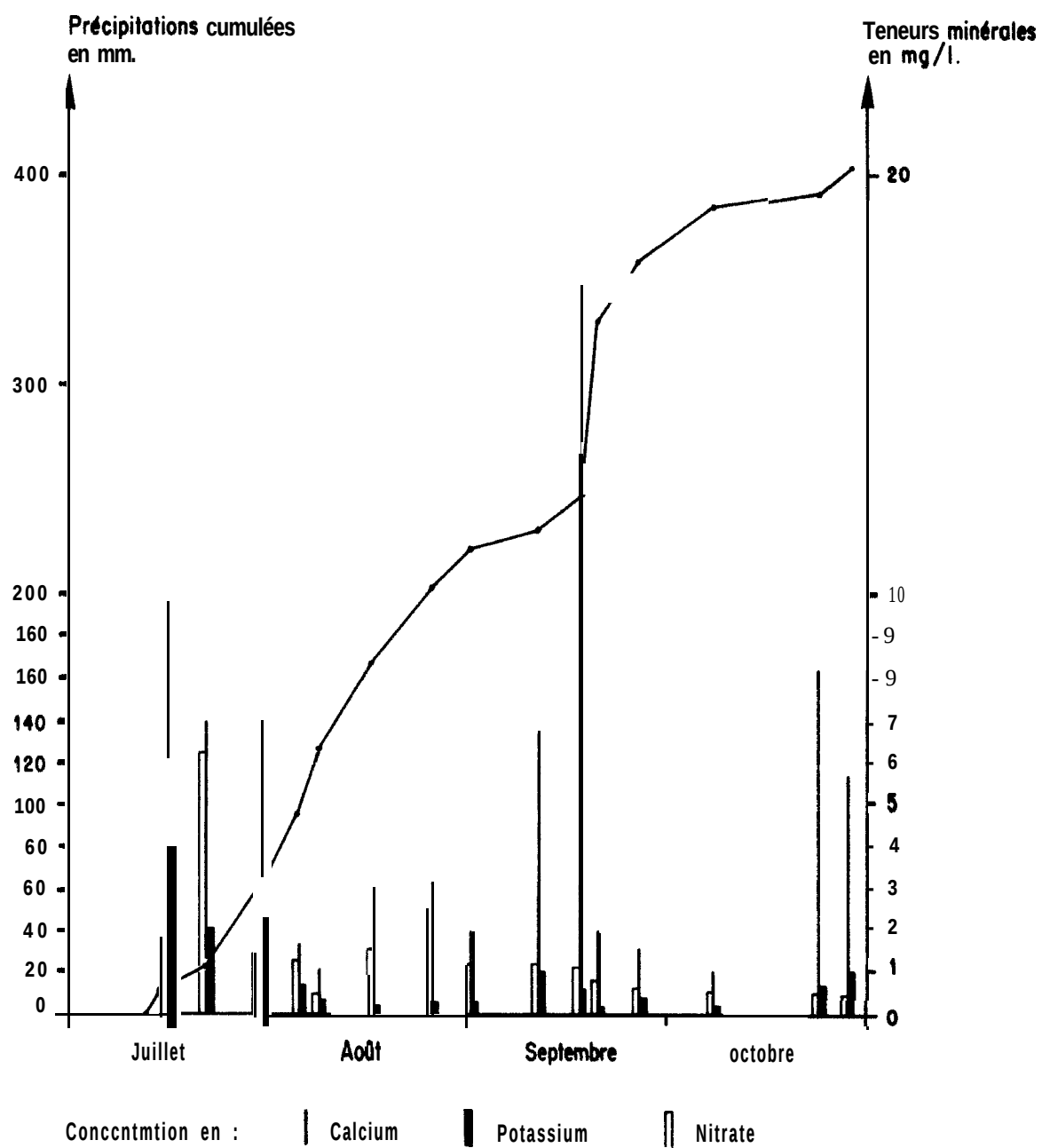


FIGURE I : Teneurs minérales des eaux de pluie à Bambeï (1976).

3 - RESULTATS :

Les résultats moyens annuels (moyennes pondérées) sont donnés dans le tableau 1

STATIONS	Pluie mm	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃	P ₂ O ₅	SiO ₂	
N'DIOL	1976	98,2	6,1	8,37	2,39	9,83	3,07	1,49	1,60	19,55	5,0	0,61	Tr
	1977	253,6	6,2	2,73	0,99	5,40	5,21	0,18	1,79	9,91	43,63	0,59	"
	1978	164,1	4,7	5,12	1,20	5,99	1,20	0,15	10,49	16,34	4,17	0,36	"
	Moyenne pondérée	172,0	5,7	4,56	1,32	6,43	3,53	0,42	4,52	13,79	23,72	0,52	"
BAMBEY	1976	402,5	6,3	3,96	0,66	2,16	0,66	1,28	0,52	3,21	8,76	0,30	"
	1977	417,0	5,7	2,24	0,43	3,32	1,05	0,15	1,91	2,62	2,81	0,25	"
	1978	693,9	4,6	1,73	0,50	1,48	0,56	0,06	3,87	3,60	0,04	0,16	"
	Moyenne pondérée	504,5	5,4	2,46	0,52	2,17	0,72	0,41	2,44	3,23	3,12	0,22	"
NIORO du RIP	1976	783,6	6,2	2,61	0,33	1,82	0,38	0,57	0,47	2,51	4,76	0,11	"
	1977	514,6	5,5	1,17	0,21	1,25	0,40	0,11	1,53	2,81	0,94	0,04	"
	1978	769,9	4,1	1,21	0,48	0,78	0,38	Tr	2,42	1,56	0,52	0,11	"
	Moyenne pondérée	689,4	5,2	1,73	0,36	1,29	0,38	0,24	1,46	2,23	2,23	0,09	"
SEFA	1976	1161,2	6,5	2,54	0,41	0,71	0,23	0,45	0,07	1,25	9,05	0,11	"
	1977	732,7	5,1	1,34	0,18	0,83	0,24	0,09	1,16	0,81	0,25	0,13	"
	1978	1028,9	4,0	0,64	0,11	0,46	0,31	Tr	1,21	1,84	Tr	0,10	"
	Moyenne pondérée	974,3	5,3	1,57	0,25	0,65	0,26	0,20	0,74	1,35	3,66	0,11	"
DJIBELOR 1	1976	1193,0	6,8	2,96	0,20	1,03	0,28	0,50	1,54	1,56	6,53	0,39	"
	1977	693,8	4,5	1,60	0,20	1,12	0,38	0,13	2,31	1,25	1,34	0,17	"
	1978	1131,6	5,2	1,03	0,19	1,17	0,72	Tr	1,87	1,58	1,59	0,07	"
	Moyenne pondérée	1006,1	5,7	1,92	0,20	1,10	0,47	0,23	1,84	1,50	3,49	0,22	"
DJIBELOR 2	1976	1155,5	6,4	5,05	0,38	1,33	0,69	0,85	2,31	2,01	6,29	0,30	"
	1977	749,8	4,8	1,10	0,23	1,04	0,39	0,07	1,56	2,67	0,27	0,08	"
	1978	1109,0	5,0	0,98	0,22	1,60	0,69	Tr	1,57	1,50	1,20	0,06	"
	Moyenne pondérée	1004,8	5,5	2,57	0,28	1,36	0,62	0,35	1,85	2,99	2,92	0,16	"

Tableau 1 : Moyennes pondérées annuelles des concentrations en éléments minéraux des eaux de pluie au Sénégal en mg/l (1976-1978)

La variabilité des résultats annuels est illustrée par les figures 1 et II où l'on a indiqué les concentrations en calcium, potassium et nitrates dans les eaux de pluie recueillies à Bambey et à Séfa en 1976.

4 - INTERPRETATION :

L'observation des résultats annuels et la comparaison entre les concentrations moyennes pondérées (quantité totale d'élément/pluviométrie annuelle) et les concentrations moyennes arithmétiques (Somme des concentrations/nombre de prélèvements analysés) nous a confirmé qu'il n'y avait pas de relation entre les concentrations et le volume des précipitations.

On observe cependant un gradient de teneurs du Nord au Sud puisque l'on passe d'une concentration moyenne de 59 mg/l à N'Diol à moins de 10 mg/l à Séfa.

Ces eaux de pluie sont donc, dans l'ensemble, peu chargées et, sans tenir compte des résultats de N'Diol, elles contiennent en moyenne :

Cations	Ca	= 2,05	+ 0,40 mg/l
	Mg	= 0,32	+ 0,10 mg/l
	Na	= 1,31	+ 0,50 mg/l
	K	= 0,49	+ 0,15 mg/l
Anions	NO ₃	= 0,29	0,08 mg/l
	Cl	= 2,06	0,70 mg/l
	SO ₄	= 1,67	0,60 mg/l
	HCO ₃	= 3,08	+ 0,50 mg/l
	P ₂ O ₅	= 0,16	0,05 mg/l

La silice n'existe qu'à l'état de trace sous forme soluble dans les précipitations recueillies. Cependant elle est l'élément essentiel des aérosols qui sont contenus dans les échantillons prélevés, particulièrement dans les régions Nord soumises aux vents sahariens chargés en éléments fins :

	Année 1976	
	Résidus sec mg/l	Poids total des éléments solubles
N'DIOL	249	52
BAMBEY	220	22
SEFA	73	15
DJIBELOR 2	66	19

La proximité de l'océan joue aussi certainement un rôle important dans l'enrichissement en éléments solubles des eaux météoriques, d'autant plus qu'au cours de la saison des pluies les vents dominants (région de Bambey notamment) sont orientés N-W - S-E, c'est à dire en provenance de l'océan. Il n'est pas impossible que cette orientation des vents explique aussi l'origine des teneurs relativement élevées en calcium et en phosphore de ces solutions du fait de l'implantation, à Rufisque (région du Cap-Vert), d'une importante cimenterie et, à Taïba (au Nord de Thiès), de l'usine de transformation des phosphates tricalciques locaux qui libèrent dans l'atmosphère des fumées ayant une charge solide élevée (évaluée à 600 kg/heure de fonctionnement).

On remarque, à ce propos, que les eaux de pluie de la Station de Séfa, zone de prélèvement la plus orientale, sont les plus pauvres en calcium et en éléments solubles d'une façon générale.

En conclusion, on ne doit pas considérer que les teneurs moyennes données ci-dessus soient représentatives des teneurs en éléments minéraux des eaux de pluie sur l'ensemble du territoire du Sénégal, mais seulement de la frange qui reste soumise aux influences océaniques.

Dans cette zone cependant, ces apports ne sont pas négligeables sur le plan minéral global, du moins en ce qui concerne le calcium et le sodium.

A titre d'exemple, à partir des données du tableau I, on peut calculer quelles ont été les quantités d'éléments minéraux apportés par les précipitations pluviométriques à Bambey au cours de la période correspondant à l'expérimentation sur la fertilisation potassique du mil et de l'arachide en sol Dior. La

pluviométrie cumulée totale, de 1973 à 1976, s'est élevée à 1871 mm et donc dans ces conditions, les sols ont bénéficié des apports théoriques suivants :

Ca = 46 kg/ha

Mg = 10 kg/ha

Na = 41 kg/ha

K = 14 kg/ha

$\text{HCO}_3 = 58 \text{ kg/ha}$

$\text{SO}_4 = 46 \text{ kg/ha}$

Cl = 61 kg/ha

$\text{P}_2\text{O}_5 = 4 \text{ kg/ha}$

$\text{N-NO}_3 = 1,7 \text{ kg/ha}$

La comparaison de ces chiffres avec ceux correspondants aux pertes par lixiviation au cours de la même période, montre que l'on doit tenir compte de ces apports météoriques dans le calcul du bilan minéral "entrée-sorties" des sols cultivés, à Bambeï notamment.

REMERCIEMENTS

Je remercie les Agents des Stations météorologiques qui ont bien voulu faire ces prélèvements au cours de trois années consécutives, ainsi que M. N'Doye et les Agents du Laboratoire de Bambeï, qui ont réalisé les très nombreux dosages d'eaux demandés à cette occasion.

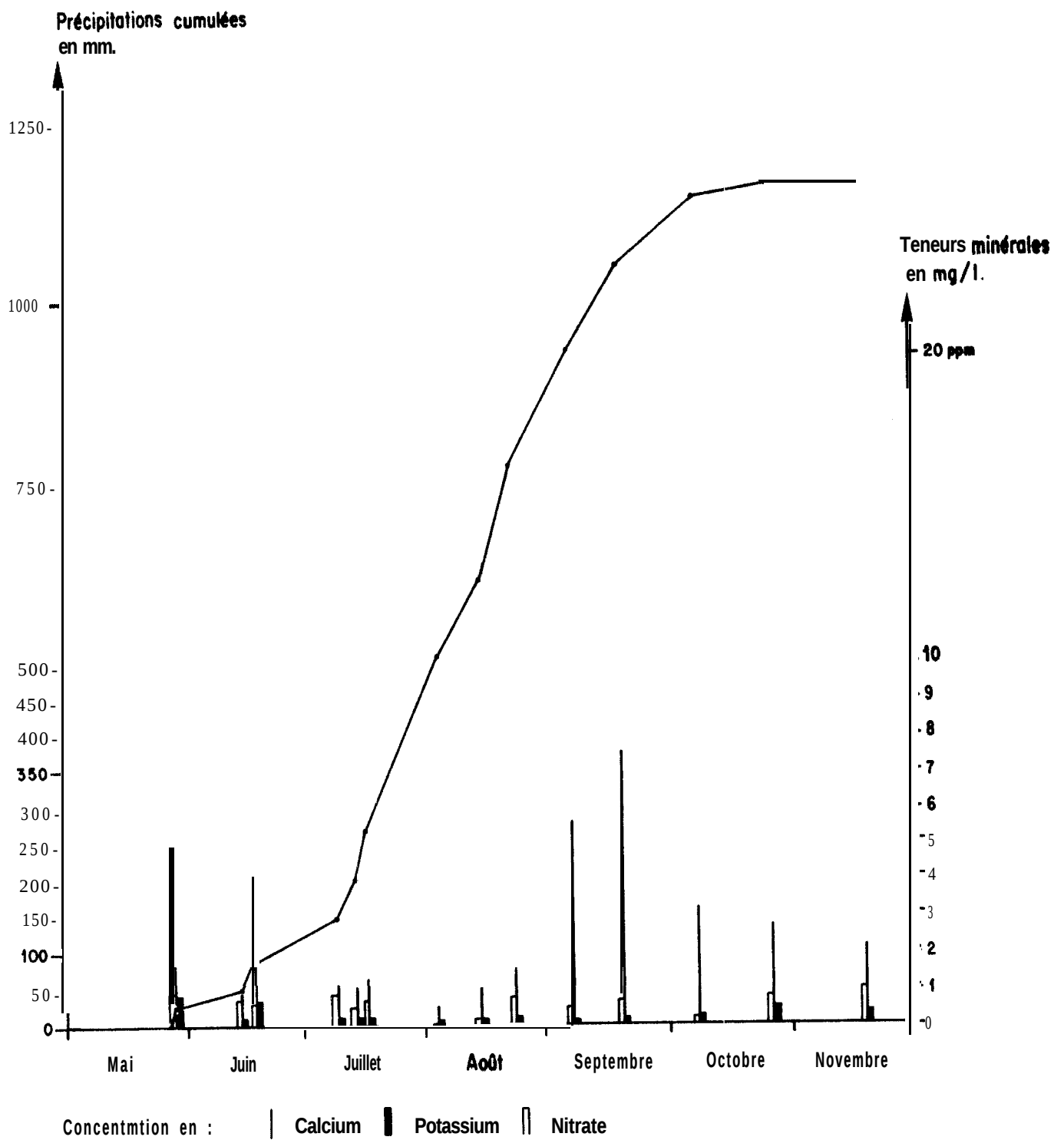


FIGURE II : Teneurs minérales des eaux de pluie à Séfo (1976).

(CALCUL DES BILANS MINERAUX)

DOCUMENT 3 :

RESULTATS

A - Bilan du potassium

B - Bilan du calcium

C - Bilan de l'azote

A) - Bilan du potassium (Bambey 1973-1976
exprime en kg/ha de K

Bilan \ Traitement						Paille mil enfouie				
	000	NPK ₀	NPK ₃₀	NPK ₆₀	NPK ₉₀	000	NPK ₀	NPK ₃₀	NPK ₆₀	NPK ₉₀
<u>EXPORT. PLANTES</u>										
1973 Mil	- 131	- 200	- 202	- 208	- 216	- 133	- 200	- 202	- 208	- 216
1974 Arachide	- 19	- 26	- 27	- 30	- 33	- 30	- 30	- 43	- 41	- 38
1975 Mil	- 34	- 45	- 90	- 111	- 129	- 52	- 78	- 146	- 136	- 169
1976 Arachide	- 16	- 21	- 23	- 36	- 44	- 27	- 29	- 49	- 52	- 56
	- 200	- 296	- 342	- 385	- 422	- 240	- 337	- 440	- 446	- 479
<u>PERTES LIXIV.</u>	- 12	- 12	- 12	- 12	- 12	- 12	- 12	- 12	- 12	- 12
<u>APPORTS ENGRAIS</u>										
1973 à 1976	0	0	+ 100	+ 200	+ 300	0	0	+ 100	+ 200	+ 300
<u>RESTITUTION ORGAN.</u>										
1973 Mil	0	0	0	0	0	+ 113	+ 179	+ 170	+ 157	+ 184
1974 Mil	0	0	0	0	0	+ 42	+ 58	+ 123	+ 114	+ 144
	0	0	0	0	0	+ 155	+ 237	+ 293	+ 271	+ 328
<u>APPORTS PLUIE</u>										
1973-1976	+ 14	+ 14	+ 14	+ 14	+ 14	+ 14	+ 14	+ 14	+ 14	+ 14
BILAN 73-76	- 190	- 294	- 240	- 183	- 120	- 83	- 98	- 59	+ 27	+ 151

Bilan apparent de l'azote (Bambey 73-76)

exprimé en kg/ha Je N

Traitement Termes du bilan						Paille mil enfouie				
	000	NPK ₀	NPK ₃₀	NPK ₆	NPK ₉	000	NPK ₀	NPK ₃₀	NPK ₆₀	NPK ₉₀
<u>EXPORT. PLANTES</u>										
1973 Mil	- 54	- 84	- 86	- 78	- 80	- 54	- 84	- 86	- 78	- 80
1974 Arachide	- 67	- 75	- 73	- 82	- 79	- 72	- 88	- 98	- 90	- 109
1975 Mil	- 35	- 67	- 74	- 71	- 86	- 36	- 82	- 102	- 91	- 103
1976 Arachide	- 53	- 51	- 60	- 65	- 71	- 68	- 74	- 78	- 76	- 80
	- 209	- 277	- 293	- 296	- 316	- 230	- 328	- 364	- 335	- 372
<u>PERTES LIXIV.</u>										
1973-1976	- 7	7	7	7	7	7	7	7	7	- 7
<u>APPORTS ENGRAIS</u>	0	+ 140	+ 140	+ 140	+ 140	0	+ 140	+ 140	+ 140	+ 140
<u>RESTITUTION. ORGAN.</u>										
1973 Mil	0	0	0	0	0	+ 25	+ 38	+ 38	+ 32	+ 39
1975 Mil	0	0	0	0	0	+ 13	+ 28	+ 39	+ 35	+ 37
	0	0	0	0	0	+ 38	+ 66	+ 77	+ 67	+ 76
<u>APPORTS PLUIE</u>	2	+ 2	+ 2	+ 2	+ 2	+ 2	+ 2	+ 2	+ 2	+ 2
1973-1976										
BILAN 73-76 apparent	- 214	- 142	- 158	- 161	- 181	- 197	- 127	- 152	- 133	- 161

B) Bilan du calcium (Bambey 1973-1976)
exprimé en kg/ha de Ca

Traitement						Paille mil enfouie				
	000	NPK ₀	NPK ₃₀	NPK ₆₀	NPK ₉₀	000	NPK ₀	NPK ₃₀	NPK ₆₀	NPK ₉₀
<u>Bilan</u>										
<u>APPORT. PLANTES</u>										
1973 Mil	- 28	- 34	- 35	- 35	- 30	- 28	- 34	- 35	- 35	- 30
1974 Arachide	- 14	- 14	- 15	- 15	- 15	- 12	- 16	- 19	- 16	- 18
1975 M i l	9	- 17	- 21	- 20	- 22	9	- 21	- 26	- 24	- 23
1976 Arachide	- 13	- 13	- 17	- 19	- 20	- 17	- 22	- 22	- 20	- 23
	- 64	- 78	- 88	- 89	- 87	- 66	- 93	- 102	- 95	- 94
<u>PERTES LIXIV.</u>	- 72	- 72	- 72	- 72	- 72	- 72	- 72	- 72	- 72	- 72
<u>APPORT ENGRAIS</u>										
1973	0	t 141	+ 141	t 141	t 141	0	t 141	t 141	t 141	t 141
<u>RESTITUTION. ORGAN.</u>										
1973 Mil	0	0	0	0	0	+ 27	t 33	+ 34	t 33	t 28
1975 Mil	0	0	0	0	0	t 9	t 20	t 25	t 23	+ 22
	0	0	0	0	0	t 36	t 53	t 59	t 56	+ 50
<u>APPORTS PLUIE</u>										
1973-1976	+ 46	t 46	t 46	+ 46	t 46	t 46	t 46	t 46	t 46	+ 46
BILAN 73-76	- 90	+ 47	t 37	+ 36	t 38	- 56	+ 85	+ 82	t 86	+ 81