

# ÉTUDE CHIMIQUE SUR LES SORGHOS

## ET MILS AFRICAÏNS

*(Éléments minéraux et oligo-éléments)*

par

M. PINTA

et

F. BUSSON

Maître de Recherche à l'O.R.S.T.O.M

Pharmacien lieutenant-colonel  
du Service de Santé des Troupes de Marine

Centre scientifique et technique,  
80, route d'Aulnay, Bondy (Seine)

Laboratoire de Recherches biochimiques  
du Service de Santé des Troupes de Marine,  
Parc du Pharo, Marseille (7<sup>e</sup>)

### I. DESCRIPTION DES ÉCHANTILLONS

Les principales céréales entrant dans l'alimentation des populations de l'ouest africain sont le riz, le maïs et surtout un ensemble d'espèces formant le groupe des sorghos et des mils.

Les sorghos appartiennent au genre *Sorghum*; les mils, plus hétérogènes, sont constitués par des espèces de divers genres : mils pénicillaires du genre *Pennisetum* essentiellement, millets des genres *Digitaria* et *Eleusine*, céréales mineures de grande importance. Enfin, et comme toujours en pays tropical, il existe des graminées de cueillette utilisées exceptionnellement pendant les périodes difficiles.

Les céréales tropicales africaines suivent assez strictement la zonation climatique : au-dessus du 10<sup>e</sup> parallèle elles constituent la base de l'alimentation humaine; au sud de l'isohyète 1 000 le sorgho domine; plus au nord, il cède le pas progressivement au mil pénicillaire moins exigeant en eau pour disparaître pratiquement entre les isohyètes 600 et 400.

L'aire culturale de *Digitaria exilis* est limitée au Nord par le 14<sup>e</sup> parallèle, au Sud par la grande forêt et à l'Est par le méridien 0 où elle se heurte à l'expansion occidentale d'*Eleusine coracana*. A l'exception de cette dernière espèce, les autres céréales sont déjà en place au xvi<sup>e</sup> siècle, là où on les trouve maintenant.

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° 29604

Cote B

EX 1

### A. Les Sorghos

La systématique des sorghos, très complexe, a été étudiée en détail par SNOWDEN (13) dans son ouvrage sur les races cultivées de *Sorghum*. Il établit d'une façon incontestable l'origine africaine polyphylétique de cette céréale. Trois souches, en effet, *Sorghum arundinaceum* Stapf, *S. verticilliflorum* Stapf, et *S. aethiopicum* Rupr. sont à la base de la diversification variétale des types de culture :

1° La première a donné dans l'Ouest du continent *S. aterrimum* Stapf et *S. Drummondii* Millsbaugh et Chase; de *S. aterrimum* paraît être issue une série jordano-spécifique de types de cultures renfermant d'après PORTERES (12) *S. margaritiflorum* Stapf (Sénégal à Nigeria), *S. guineense* Stapf (Sénégal à Ouganda), *S. mellitum* Snow. (tout l'ouest africain), *S. exsertum* Snow. à aire plus restreinte s'étendant du Mali au Togo-Dahomey, et enfin *S. gambicum* Snow cantonné de la Gambie au Sierra Leone.

Deux autres espèces dérivent par croisement de cette souche et de la souche suivante; elles sont Est africaine : *S. conspicuum* Snow. (Tanganyica, Rhodésie) et *S. Roxburghii* Stapf (Ouganda à Afrique du Sud);

2° *S. verticilliflorum* Stapf a donné naissance à deux types: le type caffra (*S. E. africain*) et un type nilo-tchadien d'où sont issus *S. nigricans* Snow. et *S. caudatum* Stapf;

3° Le troisième groupe, *S. aethiopicum* Rupr. est la souche des types durra : *S. durra* Stapf, *S. cernuum* Host. et *S. subglabrescens* Schweinf. et Ascherson cultivés dans les contrées subdésertiques du Tchad au Soudan est africain. On cultive enfin dans l'Est africain des types provenant de croisement entre formes issues des trois souches primaires et notamment *S. notabile* Snow.

### B. Les Mils pénicillaires

Les mils pénicillaires ou mils à chandelle appartiennent tous au genre *Pennisetum* et sont d'origine africaine. Leur systématique a été établie par STAPF (14) et reconnaît pour l'Afrique de l'Ouest huit espèces :

*Pennisetum ancylochaete* Stapf et Hubb, cultivé au nord du Nigeria;

*P. Gibbosum*, des mêmes auteurs, cultivé autour du lac Tchad;

*P. Maïwa*, des mêmes auteurs également, au Bauchi et autour du lac Tchad et, plus à l'Ouest, *P. cinereum* Stapf et Hubb. (Haut-Sénégal-Niger à Togo-Dahomey);

*P. gambiense* Stapf et Hubb. (Sénégal au Ghana);

*P. leonis* Stapf et Hubb. (Sierra Leone et Guinée);

*P. nigritarum* Dur. et Schintz (Sénégal à Nigeria);

*P. pycnostachyum* Stapf et Hubb (Sénégal).

Ces distinctions ne sont en réalité pas aussi tranchées que dans la classification des flores : les espèces étant interfécondes on trouve beaucoup plus de formes intermédiaires que de types caractéristiques. MARCHAL (9) a fait les mêmes constatations au Niger et admet que les petits mils appartiennent à une espèce collective englobant de nombreuses races géographiques. Il emploie comme critère de différenciation la longueur et la forme des épis.

*Digitaria exilis*, *D. Iburua* et *Eleusine coracana* ont enfin fait l'objet d'études auxquelles nous reportons le lecteur (3-8-5).

Comme suite à un travail concernant la teneur en amino-acides des sorghos et des mils (2), nous nous proposons ici de déterminer qualitativement et quantitativement les éléments minéraux et oligo-éléments sur les mêmes échantillons. Il est nécessaire cependant d'émettre quelques observations : la présente publication vaut plus par les méthodes qui y sont exposées que par les résultats obtenus. Il eût été utile en effet d'établir pour chaque espèce ou variété en cause des valeurs statistiques, car comme l'écrivent JAVILLIER et D. BERTRAND, « il importe de corriger une erreur trop communément répandue : les nombres trouvés chez les végétaux, et même chez les animaux, n'ont rien d'absolu et ne doivent pas être considérés comme fixes ou pratiquement fixes » (7).

Les végétaux puisent les oligo-éléments dans le sol par un phénomène physiologique pour ceux qui sont indispensables, phénomène auquel se superpose un autre, purement physique, dépendant essentiellement de la nature et de la composition du sol.

Dans l'impossibilité d'entreprendre actuellement un travail statistique, il nous a paru intéressant cependant de publier les résultats obtenus sur des organes végétaux dont la composition est relativement stable à l'état de maturité pour une espèce donnée : la graine ou plutôt le caryopse « nu », exceptionnellement « habillé », de diverses céréales africaines cultivées dans des conditions bien déterminées.

Le matériel d'étude, fourni par le Centre de recherches agronomiques de Bambey au Sénégal (à l'exception de *P. Maïwa*, *D. exilis* et *D. Iburua*) a été cultivé et récolté comme nous l'avons décrit dans l'article référencié plus haut. Les sorghos ont poussé à Bambey tous sur le même sol. Pour plus de commodité les échantillons seront désignés dans le texte par les numéros suivants :

N° 1. <i>Sorghum caudatum</i> .....	51-63
N° 2. <i>Sorghum caudatum</i> .....	51-50
N° 3. <i>Sorghum cernuum</i> .....	50-5
N° 4. <i>Sorghum conspicuum</i> .....	54-28
N° 5. <i>Sorghum durra</i> .....	50-55
N° 6. <i>Sorghum exsertum</i> .....	50-73
N° 7. <i>Sorghum gambicum</i> .....	Congossane
N° 8. <i>Sorghum guineense</i> .....	50-70
N° 9. <i>Sorghum margaritifera</i> .....	50-27
N° 10. <i>Sorghum notabile</i> .....	51-60
N° 11. <i>Sorghum roxburghii</i> .....	AS-18H
N° 12. <i>Sorghum subglabrescens</i> .....	54-3

N° 30. Digitaria Iburua .....	grain vêtu
N° 31. Digitaria Iburua .....	grain nu
N° 37. Pennisetum Maïwa .....	grain nu
N° 33. Digitaria exilis .....	grain vêtu
N° 34. Digitaria exilis .....	grain nu
N° 35. Pennisetum gambiense .....	hâtif PC 28 Bambey
N° 36. Pennisetum pycnostachyum .....	tardif PC 01 Bambey
N° 37. Pennisetum pycnostachyum .....	tardif PC 03 Bambey
N° 38. Pennisetum pycnostachyum .....	tardif PC 03 Lambaye
N° 39. Pennisetum pycnostachyum .....	tardif PC 06 Bambey
N° 40. Pennisetum pycnostachyum .....	tardif PC 06 Takhoum
N° 41. Pennisetum pycnostachyum .....	tardif PC 07 Bambey
N° 42. Pennisetum pycnostachyum .....	tardif PC 07 Takhoum
N° 43. Pennisetum pycnostachyum .....	tardif PC 10 Bambey
N° 44. Pennisetum pycnostachyum .....	tardif PC 10 Takhoum
N° 45. Pennisetum pycnostachyum .....	tardif PC 14 Bambey
N° 46. Pennisetum pycnostachyum .....	tardif PC 14 Lambaye
N° 47. Pennisetum pycnostachyum .....	tardif PC 19 Bambey
N° 48. Pennisetum pycnostachyum .....	tardif PC 19 Takhoum
N° 49. Pennisetum pycnostachyum .....	tardif PC 25 Bambey
N° 50. Pennisetum pycnostachyum .....	tardif PC 25 Takhoum
N° 51. Pennisetum pycnostachyum .....	témoïn local Lambaye
N° 52. Pennisetum pycnostachyum .....	témoïn local Takhoum
N° 85. Eleusine coracana .....	grain nu

Nous nous sommes attachés à la détermination des oligo-éléments dont la présence est démontrée aujourd'hui dans tous les organismes végétaux, à savoir : Al, B, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Rb, Sn, Ti, V, Zn.

Dans tous les échantillons analysés, ont été trouvés et dosés en outre Ba, et Sr. Les méthodes d'analyses n'ont pas permis de déceler Be, Bi, Ga, Ge, Cs.

## II. MÉTHODES D'ANALYSES

Après minéralisation de l'échantillon, soit par attaque acide, soit par calcination, plusieurs méthodes sont employées pour la détermination des éléments :

- a. Fer : spectrophotométrie d'absorption;
- b. Zinc : polarographie;
- c. Cuivre, manganèse, aluminium : spectrographie d'arc;
- d. Molybdène, nickel, cobalt, titane, vanadium, étain, plomb... : spectrographie d'arc;
- e. Baryum, strontium, lithium, rubidium, césium : spectrographie d'arc.

Les éléments : calcium, potassium, magnésium, sodium sont déterminés au préalable par spectrophotométrie de flamme et le phosphore par spectrophotométrie d'absorption; pour ces méthodes seul le principe en sera donné.

### A. Minéralisation de l'échantillon

#### 1° MINÉRALISATION PAR VOIE HUMIDE : ATTAQUE NITRO-PERCHLORIQUE.

L'échantillon est broyé convenablement dans un moulin en acier inoxydable, puis séché 10 h à l'étuve à 100 °C (étuve en silice); 10 g de produit sont pesés et mis dans une fiole Kjeldahl de 250 ml avec 4 ml d'acide perchlorique ( $d = 1,54$ ) et une quantité juste suffisante d'acide nitrique pour oxyder la matière organique; celui-ci est ajouté par petites quantités. Après attaque totale, la solution est évaporée à petit volume.

On constate dans quelques échantillons un faible insoluble (10 à 20 mg) qui est alors filtré; l'examen spectrographique a montré qu'il s'agissait de silice pure; les éléments qui ont été insolubilisés en même temps sont à l'état de traces très faibles : K, Ca, Al...

Le résidu de l'attaque est filtré et jaugé à 100 ml. Cette solution est utilisée pour les dosages suivants : 1° K, Ca, Mg, Na; 2° P; 3° Fe; 4° Zn.

#### 2° MINÉRALISATION PAR CALCINATION.

Une quantité de 10 g d'échantillon broyé et séché à 100 °C est calcinée en capsule de quartz et dans un four à moufle en silice. La température est maintenue 2 h à 250 °C en ménageant une entrée d'air pour faciliter l'oxydation de la matière organique; le four est porté progressivement à 450 °C et maintenu 12 h à cette température. Dans ces conditions, les pertes par volatilisation des éléments, Al, Ag, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn, Sr, Ta, Ti, V, sont négligeables. Pour le dosage du bore, un échantillon est spécialement calciné à 450 °C en présence d'acétate de calcium destiné à éviter les pertes de bore par volatilisation.

Le résidu est refroidi au dessiccateur, broyé et conservé en tube bouché. Il contient encore une partie de carbone plus ou moins importante.

Les pourcentages de cendres trouvés dans ces conditions sont les suivants (par rapport à la matière sèche) :

##### Pour les Sorghum :

N° 1.....	2,5 p. 100
N° 2.....	1,9 p. 100
N° 3.....	2,3 p. 100
N° 4.....	3,7 p. 100
N° 5.....	2,3 p. 100
N° 6.....	2,0 p. 100
N° 7.....	2,0 p. 100
N° 8.....	2,2 p. 100
N° 9.....	2,0 p. 100
N° 10.....	2,3 p. 100
N° 11.....	2,2 p. 100
N° 12.....	2,0 p. 100

##### Pour les Digitaria :

N° 30.....	3,0 p. 100
N° 31.....	1,5 p. 100
N° 33.....	3,0 p. 100
N° 34.....	1,5 p. 100

Pour les Pennisetum :

N° 32.....	1,5 p. 100	N° 44.....	1,8 p. 100
N° 35.....	1,5 p. 100	N° 45.....	1,6 p. 100
N° 36.....	2,2 p. 100	N° 46.....	1,6 p. 100
N° 37.....	1,7 p. 100	N° 47.....	1,8 p. 100
N° 38.....	1,7 p. 100	N° 48.....	2,0 p. 100
N° 39.....	1,7 p. 100	N° 49.....	1,7 p. 100
N° 40.....	1,8 p. 100	N° 50.....	1,6 p. 100
N° 41.....	1,7 p. 100	N° 51.....	1,7 p. 100
N° 42.....	1,6 p. 100	N° 52.....	2,0 p. 100
N° 43.....	1,7 p. 100		

Pour l'Eleusine :

N° 85.....	2,2 p. 100
------------	------------

Les échantillons de cendres sont utilisés pour les diverses analyses spectrographiques mentionnées plus haut.

## B. Dosage des éléments calcium, potassium, sodium, magnésium, phosphore

### 1° SODIUM, POTASSIUM, MAGNÉSIUM : SPECTROPHOTOMÉTRIE DE FLAMME.

Un volume de 10 ml de la solution d'attaque nitro-perchlorique est dilué à 50 ml; cette solution est analysée par spectrophotométrie de flamme air-acétylène.

Les conditions spectrales sont données au tableau I.

TABLEAU I

*Spectrophotométrie de flamme. — Conditions spectrales*

Éléments	Émissions $m\mu$	Séparation spectrale	Mesure
K .....	767	Filtre optique	Cellule à couche d'arrêt
Na. ....	589	Filtre interférentiel	— — —
Mg .....	285	Spectrophotomètre	Photomultiplicateur d'électrons

### 2° CALCIUM : SPECTROPHOTOMÉTRIE DE FLAMME.

Pour éliminer l'interférence du phosphore et du soufre, la solution initiale est diluée avec une solution tampon de P, S et N [BOVAY (1)]; les éléments P, S, N sont apportés sous forme d'acide phosphorique, sulfate de sodium, nitrate de sodium. La spectrophotométrie de flamme est effectuée sur les solutions ainsi préparées, comparativement à des solutions étalons contenant également les éléments P, S, N. La mesure est faite sur la raie 422,6  $m\mu$

séparée au spectrophotomètre et mesurée par photomultiplicateur d'électrons.

### 3° PHOSPHORE.

Le phosphore est déterminé sur 5 ml de la solution d'attaque nitro-perchlorique, par la méthode au métavanadate (11).

Les résultats sont donnés plus loin pour chaque espèce végétale.

## C. Dosage des oligo-éléments

### 1° DOSAGE DU FER : SPECTROPHOTOMÉTRIE D'ABSORPTION.

Le fer est déterminé par la méthode spectrophotométrique au sulfocyanure (11).

Un volume de 10 ml de la solution de l'attaque nitro-perchlorique est mis dans une fiole jaugée de 50 ml, avec 1 ml de solution de persulfate de sodium à 2 p. 100 et 10 ml de solution de sulfocyanure d'ammonium à 10 p. 100.

Les solutions d'étalonnage sont préparées à partir d'une solution de fer à 100  $\mu\text{g/ml}$  et mesurées au spectrophotomètre à 485  $\text{m}\mu$ . Les ions gênants : Cu, Co, Ti, Mo, Mn..., sont en quantités trop faibles pour perturber le dosage. La méthode a, d'autre part, été essayée sur des échantillons synthétiques.

Il est à noter enfin que nous avons préféré cette méthode à celle de l'orthophénanthroline, car elle est applicable aux échantillons minéralisés par attaque nitro-perchlorique.

### 2° DOSAGE DU ZINC : POLAROGRAPHIE.

La polarographie est un excellent procédé de dosage du zinc à l'état de traces en milieu complexe. Il est recommandé cependant de séparer les éléments gênants par extraction du zinc à la dithizone.

L'extraction est faite sur la solution de l'attaque nitro-perchlorique : un volume de 10 ml est additionné de 10 ml de citrate d'ammonium en solution à 40 p. 100, destiné à complexer les éléments interférants.

Le pH est amené à 8,3 à l'aide d'ammoniaque, avec contrôle au pH-mètre. La solution est transférée dans une ampoule à décanter de 250 ml pour être extraite trois ou quatre fois par agitation avec 10 ml de dithizone en solution à 0,02 p. 100 dans le chloroforme. Les phases organiques contenant en particulier Cu, Pb, Zn, sont réunies dans une nouvelle ampoule à décanter pour être extraites deux fois par 10 ml d'acide chlorhydrique 0,5 N : Zn et Pb passent ainsi dans la phase aqueuse; celle-ci est évaporée à sec et le résidu organique détruit à l'eau oxygénée à 130 volumes. L'extrait sec est finalement redissous dans 10 ml d'un électrolyte de base contenant du sulfocyanure d'ammonium 0,025 N et de l'acétate d'ammonium 0,1 N (composition par litre,  $\text{KSCN}$  2,425 g;  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pur 6 ml,  $\text{NH}_4\text{OH}$  conc. 8,5 ml; le pH est ajusté à 4,6 avant de jauger à 1 litre). Le polarogramme est enregistré sur la solution ainsi préparée; 4 ml de solution sont disposés dans la cellule électrolytique

munie d'une électrode de référence au calomel saturée et d'une électrode à gouttes de mercure dont le débit est réglé à 20 gouttes par minute. L'élimination de l'oxygène dissous est effectuée par barbotage d'azote pendant 2 mn, le polarogramme est enregistré entre 0,8 et 1,34 V, en « polarographie dérivée », soit  $\frac{dI}{dE}$  en fonction de E.

La sensibilité est réglée pour avoir 300 mm pour 1  $\mu$  A en polarographie directe. L'étalonnage polarographique est effectué à partir d'une solution de sulfate de zinc à 10  $\mu$ g Zn/ml dont les volumes de 0, 0,5, 1, 2,5, 5 ml sont évaporés à sec et repris par 10 ml d'électrolyte de base pour être polarographiés comme ci-dessus.

### 3° DOSAGE DU CUIVRE, DU MANGANÈSE, DE L'ALUMINIUM.

#### *Spectrographie d'arc.*

Ces éléments sont déterminés par spectrographie d'arc sur les cendres obtenues par calcination. La méthode utilise l'étalonnage interne et consiste à mesurer le rapport d'intensité de la raie de l'élément étudié à celle de l'étalon interne. Ce rapport de raies est étalonné à partir d'échantillons synthétiques.

#### *Préparation de l'échantillon.*

Une quantité de 10 mg de cendres est mélangée à 10 mg de sulfate de potassium (4-11) servant de tampon spectral et 20 mg de poudre de graphite contenant 250 p.p.m. de Cr et de Ag devant servir d'étalons internes. L'ensemble, soigneusement broyé au mortier d'agate est disposé dans le cratère d'une électrode de graphite (diamètre ext. 5 mm, diam. int. 3 mm, profondeur 4 mm).

#### *Conditions spectrales.*

L'électrode préparée sert d'anode dans un arc continu; la zone voisine de l'anode est spectrographiée à expositions variables; à cet effet, la source est placée au foyer d'une lentille qui forme un faisceau parallèle sur la fente du spectrographe; un secteur à échelons placé dans le trajet du faisceau permet de faire varier le temps d'exposition le long de la fente du spectrographe selon la progression  $t, t/2, t/4...$  Le spectrographe est de type « LITROW » à grande dispersion.

Les conditions spectrales sont notées au tableau II.

TABLEAU II  
*Spectrographie d'arc. — Conditions spectrales. — Dosage de Al, Cu, Mn*

Écartement entre les électrodes .....	2 mm
Largeur de fente .....	7 $\mu$
Courant .....	9 ampères
Temps de pose .....	1 mn 30 s
Région spectrale .....	3 000 – 4 000 Å
Plaque photographique .....	Ilford Thin Film Half Tone



*Mesure des raies.*

Les couples de raies utilisées aux dosages sont les suivants (11) :

Cu.....	3 273,96 Å	Ag.....	3 280,18 Å
Mn.....	4 034,49 Å	Cr.....	4 254,35 Å
Al.....	3 944,00 Å	Cr.....	4 254,35 Å

Le rapport d'intensité des raies est mesuré à partir des caractéristiques des raies et des fonds spectraux; les raies sont déterminées à l'aide de la mesure photométrique des noircissements aux différentes expositions correspondant aux échelons du secteur (fig. 1 et 2). On calcule ainsi le logarithme du rapport d'intensité des raies de cuivre et d'argent (10-11) soit :  $\log \frac{I_{Cu}}{I_{Ag}}$ .

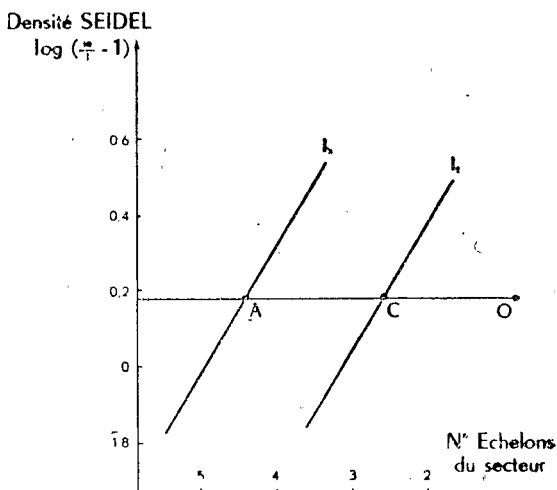


FIG. 1

*Courbes caractéristiques tracées en densités SEIDEL*

Cette expression est étalonnée à partir d'échantillons synthétiques spectrographiés dans les mêmes conditions que précédemment.

*Préparation des échantillons synthétiques d'étalonnage.*

Ils ont une composition moyenne représentant celle des cendres des produits étudiés; soit approximativement pour la série des sorghos : Na 1 p. 100; K 18 p. 100; Ca 1 p. 100; Mg 7 p. 100; P 21 p. 100,

Ceci est réalisé sensiblement à l'aide du mélange de base suivant : H<sub>2</sub>KPO<sub>4</sub> : 7,5 g; MgO : 1,5 g; NaCl : 0,2 g; CaCO<sub>3</sub> : 0,2 g; SiO<sub>2</sub> : 0,6 g.

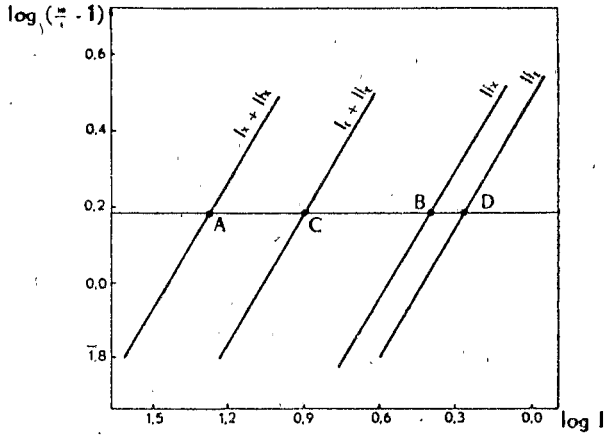


FIG. 2

*Courbes caractéristiques de deux raies et des fonds spectraux*

Le mélange est calciné à 900° et sert à diluer un mélange d'oligo-éléments pour réaliser une gamme de produits étalons contenant les éléments étudiés aux concentrations suivantes :

0 31,6 100 316 1 000 3 160 p.p.m.

Il est à noter que les logarithmes de ces valeurs sont respectivement : 0, 1,5 2 2,5 3 3,5 ce qui facilite le tracé de la courbe d'étalonnage (fig. 3) :

$$\log \frac{I_{Cu}}{I_{Ag}} = f(\log \text{conc})$$

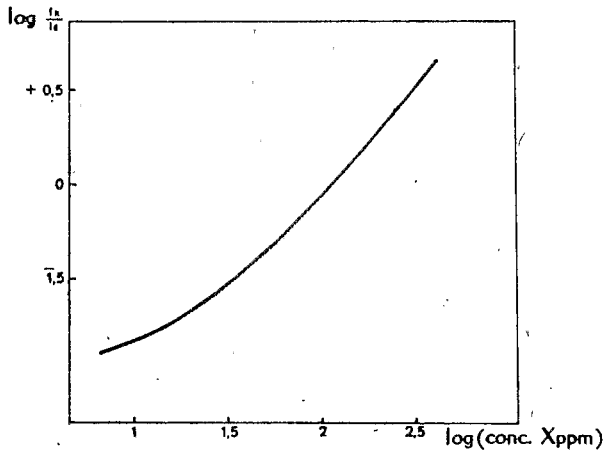


FIG. 3

*Courbe d'étalonnage*

Les courbes d'étalonnage ont été déterminées en effectuant trois fois le spectre de chaque échantillon et en calculant chaque fois le rapport d'intensité, la moyenne étant faite pour les trois déterminations.

Les analyses d'échantillons sont faites en double.

Les résultats sont donnés plus loin dans un tableau récapitulatif.

#### 4<sup>o</sup> DOSAGE DES ÉLÉMENTS Ag, Be, Bi, Co, Cr, Ga, Mo, Ni, Pb, Sn, Ti, V...

Ces éléments se trouvent dans le milieu végétal à des concentrations de l'ordre ou inférieures à 1 p.p.m. (partie par million). Ils sont déterminés par la méthode semi-quantitative de comparaison des raies (11). Dans cette méthode, la densité de la raie de l'élément recherché est comparée à celle obtenue dans une série d'échantillons étalons spectrographiés sur la même plaque photographique.

L'échantillon est calciné comme indiqué plus haut.

Une quantité de 20 mg est mélangée avec 20 mg de graphite et introduite dans une électrode de graphite (diam. ext. 5 mm, diam. int. 3 mm, profondeur 4 mm).

#### *Conditions spectrales.*

L'électrode préparée sert d'anode dans un arc continu dont la zone centrale est projetée sur la fente du spectrographe. Celui-ci est de type « LITROW » à grande dispersion. Les autres conditions spectrales sont données tableau III.

TABLEAU III

*Spectrographie d'arc. — Conditions spectrales. — Dosage des oligo-éléments*

Écartement des électrodes.....	4 mm
Largeur de fente.....	7 $\mu$
Hauteur.....	2 mm
Courant.....	9 ampères
Temps de flambage.....	10 secondes
Temps de pose.....	40 secondes
Région spectrale.....	2 700-4 300 Å
Plaque photographique.....	Iford «Chromatic»

#### *Raies spectrales :*

Les raies utilisées au dosage sont données tableau IV.

#### *Sensibilité :*

Dans les conditions précédentes, on peut déceler dans les produits spectrographiés les concentrations données tableau V.

TABLEAU IV

*Spectrographie d'arc. — Dosage des oligo-éléments. — Raies spectrales*

Ag 3 280,7 - 3 382,9 Å	Mo 3 132,6 - 3 170,3 Å
Be 3 130,4 - 3 131,07 Å	Ni 3 414,8 Å
Bi 2 897,9 - 3 067,7 Å	Pb 2 833,1 Å
Co 3 405,1 - 3 453,5 Å	Sn 2 840,0 - 3 263,3 Å
Cr 4 254,3 - 4 274,8 Å	Ti 3 653,5 - 3 234,5 Å
Ga 2 943,6 - 2 944,2 Å	V 3 185,4 Å

TABLEAU V

*Spectrographie d'arc. — Sensibilités en p. p. m.*

Ag..... 2	Mo..... 5
Be..... 30	Ni..... 5
Bi..... 30	Pb..... 5
Co..... 30	Sn..... 5
Cr..... 5	Ti..... 10
Ga..... 10	V..... 5

Les raies spectrales sont mesurées par la densité optique ou noircissement qu'elles donnent sur la plaque dans les conditions spectrales du mode opératoire; elle a pour expression :

$$d = \log. \frac{I_0}{I}$$

où  $I_0$  et  $I$  sont les flux lumineux traversant la plaque photographique et la raie.

L'étalonnage est effectué à partir d'une gamme d'échantillons synthétiques contenant les éléments : Ag, B, Ba, Be, Co, Cr, Cs, Ga, Li, Mo, Ni, Pb, Rb, Sn, Sr, Ti, V, aux concentrations suivantes en p.p.m. :

0 - 1 - 3,16 - 10 - 31,6 - 100 - 316.

dans la base d'éléments majeurs préparés pour le dosage de Cu, Mn, Al. Les échantillons serviront également aux dosages de B, Ba, Ca, Li, Rb, Sr. Les étalonnages sont constitués par des courbes définies par la densité de la raie en fonction du logarithme de la concentration de l'élément X :

$$d = f(\log \text{ conc. X})$$

Les résultats sont donnés plus loin dans des tableaux récapitulatifs.

##### 5° DOSAGE DES ÉLÉMENTS Ba, Cs, Li, Rb, Sr.

Ces éléments ont leurs raies principales dans les régions visible et proche

infra-rouge du spectre. Ils sont déterminés par une technique semblable à la précédente.

Les électrodes sont préparées dans des conditions identiques. Les caractéristiques de l'arc sont les mêmes, le temps de flambage est de 10 s, le temps de pose, 30 s. Le spectrographe utilisé est un appareil à prisme de verre : spectrographe de la Société Générale d'Optique, type A 2; la fente d'entrée est réglée à 5  $\mu$ . La plaque photographique employée est une plaque Ilford « Long Range Spectrum ».

### Raies spectrales.

Les raies utilisées sont données tableau VI.

TABLEAU VI

*Spectrographie d'arc. — Raies spectrales. — Dosage de Ba, Li, Sr, Cs, Rb*

Ba 4 934 - 5 535,6 Å	Cs 4 593,3 - 8 521,1 Å
Li 6 707,8 - 6 103,8 Å	Rb 7 800,2 - 7 947,6 Å
Sr 4 607,3 Å	

Les sensibilités obtenues dans les conditions expérimentales qui ont été données, sont pour les produits spectrographiés (cendres végétales) :

Ba : 10 p.p.m. - Cs : 50 p.p.m. - Li : 1 p.p.m.

Rb : 30 p.p.m. - Sr : 0,5 p.p.m.

Les raies sont mesurées comme dans la technique précédente et les résultats donnés plus loin dans un tableau récapitulatif.

### 6° DOSAGE DU BORE.

Le dosage spectrographique du bore dans les végétaux exige deux précautions particulières : la calcination du milieu végétal doit être faite dans des conditions spéciales pour éviter les pertes de bore.

La calcination de l'échantillon est faite dans les conditions suivantes : une quantité de 1 g d'échantillon additionnée de 10 ml de solution saturée de chaux (soit 18 mg de CaOH<sub>2</sub>) [11] est évaporée à sec et calcinée 3 h à 450 °C. Le résidu est spectrographié dans une électrode de graphite de *qualité exempte de bore*.

On utilise la technique semi-quantitative de comparaison de caractéristiques (11). Le rayonnement issu de l'arc éclaire la fente du spectrographe en faisceau parallèle comme indiqué pour le dosage de Cu, Mn, Al; un secteur à échelons permet de faire varier l'exposition le long de la fente du spectrographe. Dans ces conditions, on peut établir pour chaque raie la caractéristique; c'est la position de cette caractéristique sur un axe parallèle à l'axe des abscisses qui est fonction de l'intensité de la raie (fig. 4).

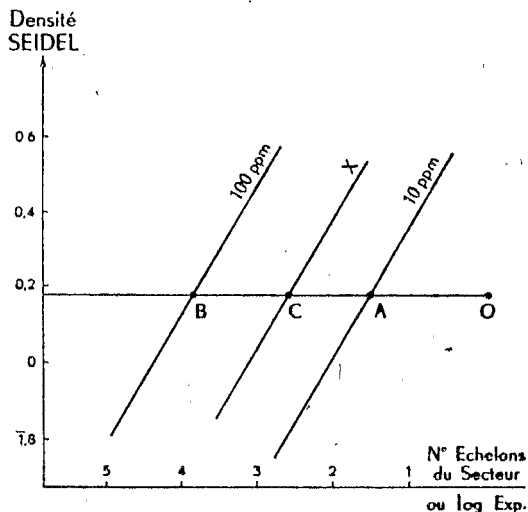


FIG. 4

*Analyse semi-quantitative par comparaison des caractéristiques méthode sans fond spectral*

Les conditions opératoires du dosage spectrographique sont données tableau VII.

TABLEAU VII

*Spectrographie d'arc. — Dosage du bore*

Électrodes. ....	Graphite exempt de bore, dimensions : comme pour Cu, Mn, Al
Temps de pose .....	1 minute 30 secondes (sans flambage)
Intensité du courant.....	9 ampères
Largeur de fente.....	10 $\mu$
Région spectrale .....	2.400–2.600 Å
Plaque. ....	« Iford chromatic »

*Étalonnage, dosage.*

L'étalonnage est effectué à partir des produits étalons préparés pour la méthode précédente. Ceux-ci sont spectrographiés dans les mêmes conditions que les étalons. Le bore présente deux raies intenses à 2 496,8 et 2 497,7 Å ; la photométrie est faite sur la raie 2497,7 Å. La courbe d'étalonnage est définie par la valeur OA en fonction du logarithme de la concentration. Les résultats sont donnés plus loin.

### III. RÉSULTATS

Les résultats sont groupés par espèce végétale, en distinguant : les Sorghos, les Digitaria, les Pennisetum, enfin l'Eleusine. Pour chacune de ces plantes, nous séparerons les éléments majeurs : potassium, sodium, calcium, magnésium et phosphore, et les oligo-éléments.

#### A. Les Sorghos

Les résultats sont notés tableaux VIII (éléments majeurs) et IX (oligo-éléments et autres éléments traces). Sans vouloir entreprendre une discussion statistique de ces résultats, on peut, à partir de douze échantillons étudiés, faire quelques observations qui, bien entendu, viennent compléter les remarques énoncées au début de ce travail. En ce qui concerne les divers sorghos étudiés, il importe de rappeler que tous les échantillons sont cultivés au Sénégal, dans la région de Bambey.

On a vu que le taux de cendres variait dans ces échantillons de 1,9 à 2,5 p. 100 avec une moyenne de 2,15 p. 100. Dans tous les échantillons, la silice est faible : de l'ordre de 0,1 à 0,3 p. 100.

L'examen du tableau VIII fait apparaître des valeurs assez bien groupées pour les cinq éléments autour des moyennes suivantes :

Na 0,018 p. 100; K 0,40 p. 100; Ca 0,02 p. 100; Mg 0,18 p. 100; P 0,49 p. 100.

TABLEAU VIII

*Analyse des sorghos*

Dosage de Na, K, Ca, Mg, P. Résultats exprimés en p. 100 de matière sèche

	Na	K	Ca	Mg	P
1.....	0,02	0,50	0,03	0,23	0,50
2.....	0,02	0,37	0,02	0,16	0,50
3.....	0,02	0,52	0,03	0,17	0,46
4.....	0,02	0,45	0,02	0,19	0,63
5.....	0,01	0,48	0,02	0,17	0,48
6.....	0,02	0,35	0,02	0,16	0,43
7.....	0,22	0,38	0,02	0,20	0,43
8.....	0,02	0,37	0,02	0,23	0,55
9.....	0,02	0,36	0,02	0,13	0,46
10.....	0,02	0,39	0,02	0,19	0,53
11.....	0,02	0,38	0,02	0,17	0,45
12.....	0,01	0,35	0,02	0,15	0,45

TABLEAU IX

*Analyse des sorghos*

Dosage des oligo-éléments. — Résultats exprimés en p. p. m. (parties par million)

	Al	B	Ba	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Rb	Sn	Sr	Ti	V	Zn
1.....	23	3	0,7	0,5	4	52	0,2	28	3	1	2	3	0,7	3	1	< 0,1	20
2.....	16	3	0,5	0,5	3	44	0,3	16	2	2	0,5	2	0,3	2	1	< 0,1	34
3.....	69	1	0,7	0,6	3	138	0,3	16	3	1	0,5	3	1	3	1	0,1	75
4.....	19	1	0,2	1	10	82	2	18	8	4	2	3	1,5	0,1	2	< 0,1	43
5.....	22	1	1	0,6	5	40	0,2	18	5	2	0,7	3	1,4	3	1	< 0,1	16
6.....	5	1	1	0,2	4	38	0,3	19	2	1	0,2	2	< 0,04	2	1	< 0,1	26
7.....	30	1	2	0,6	7	50	0,4	16	3	2	1,6	2	0,1	2	1	< 0,1	35
8.....	10	1	1	0,2	7	44	0,3	27	3	2	0,2	2	< 0,04	2	1	< 0,1	30
9.....	21	< 1	0,4	0,4	5	66	1	20	4	1	1,6	1	< 0,2	0,2	1	< 0,1	70
10.....	14	2	0,5	0,3	9	150	2	30	4	1	1,8	2	0,1	0,2	0,2	< 0,1	36
11.....	22	1	1	0,6	5	52	0,3	21	4	2	1	2	0,6	2	1	< 0,1	30
12.....	12	1	0,6	0,6	3	48	1	23	5	2	1,7	3	< 0,04	2	1	< 0,1	25

Pour tous les échantillons : Ag < 0,05; Be, Bi, Co < 0,5; Ga < 0,1; Ge < 0,1



Sodium et calcium sont en très faibles concentrations, le magnésium, le potassium et le phosphore, en concentrations relativement fortes; alors que les variations de concentration des éléments de base varient sensiblement du simple au double, les teneurs d'oligo-éléments varient dans des limites plus étendues.

Les éléments biologiquement actifs : B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, doivent être examinés séparément : le bore varie de 1 à 3 p.p.m., le cuivre, de 3 à 10 p.p.m., le fer de 44 à 82 avec deux résultats discordants : 138 et 150 p.p.m.; le manganèse, de 16 à 30 p.p.m., le molybdène de 2 à 8, le zinc enfin de 20 à 75 p.p.m. Ces valeurs peuvent être qualifiées normales. Mais les différences sont encore plus typiques dans les autres éléments traces : Al varie de 5 à 30 p.p.m. (avec un résultat différent, 69 p.p.m. pour le n° 3); Ba de 0,2 à 1; Cr de 0,2 à 1; Li de 0,2 à 2; Ni de 1 à 2; Pb de 0,2 à 2; Sn de 0,04 à 1,5; Sr de 0,1 à 3; Ti de 0,2 à 2. Les éléments suivants : Ag, Be, Bi, Co, Ga, Ge et V qui ont été recherchés spectrographiquement selon les techniques indiquées n'ont pas été décelés.

Si, pour chaque élément, on laisse de côté les valeurs nettement différentes pour effectuer la moyenne de chaque dosage, on obtient pour cette série de sorghos les teneurs moyennes suivantes :

a. Oligo-éléments (teneurs en p.p.m.) :

B 1,3; Cu 5,4; Fe 67; Mn 21; Mo 4; Zn 37.

b. Autres éléments traces :

Al 17,6; Ba 0,8; Cr 0,5; Li 0,7; Ni 1,7; Pb 1,1; Rb 1,2; Sn 0,5; Sr 21,5; Ti 1.

L'échantillon n° 3 en particulier n'est pas intervenu dans les moyennes pour les dosages de Fe et Al, différents des autres échantillons : Fe : 138 p.p.m.; Al : 69 p.p.m.; notons également pour ce même sorgho une teneur assez forte en zinc : 75 p.p.m.

On remarque une corrélation entre le potassium et le rubidium : la concentration en Rb, bien que très faible, semble suivre les valeurs de potassium; il n'en est pas du tout de même pour le lithium. Dans le groupe des alcalino-terreux aucune corrélation n'apparaît entre Ca, Ba, Sr.

En résumé, les concentrations d'oligo-éléments paraissent normales dans les sorghos étudiés; les autres éléments à l'état de traces sont également en concentrations tout à fait normales, aucun excès n'a été noté.

## B. Les *Digitaria*

L'étude n'ayant porté que sur deux échantillons, nus et vêtus, il ne peut être question de discuter la répartition des éléments en fonction de l'échantillonnage; nous nous bornerons donc à souligner les caractéristiques analytiques par rapport aux autres céréales étudiées.

Les résultats sont rapportés tableaux X et XI.

TABLEAU X

*Analyse des Digitaria*

Dosage des éléments majeurs

	Na	K	Ca	Mg	P
30 .....	0,02	0,38	0,02	0,10	0,26
31 .....	0,01	0,16	0,01	0,03	0,16
33 .....	0,02	0,28	0,03	0,09	0,21
34 .....	0,01	0,16	0,01	0,04	0,17

Une première observation apparaît tableau X : les teneurs sont généralement plus fortes dans les produits vêtus : n<sup>os</sup> 30 et 33, que dans les mêmes échantillons nus : n<sup>os</sup> 31 et 34; ceci est constaté pour les quatre éléments de base. L'analyse spectrographique montre également que la silice est plus forte dans l'échantillon vêtu. Tout comme les sorghos, les digitaria étudiés sont pauvres en sodium et calcium; ils sont un peu plus faibles en K, Mg et P. La détermination des oligo-éléments dans ces digitaria fait apparaître un certain nombre de caractères essentiels. Des teneurs plus fortes dans le grain vêtu que dans le grain nu sont relevées pour Al, Cr, Fe, Li, Mn, Pb, Ti, V; les différences sont particulièrement marquées pour Al et Fe. Les oligo-éléments possédant ou pouvant posséder une activité catalytique ou physiologique sont en concentrations relativement fortes; ainsi Co, Cu, Fe, Mn, Mo sont, dans les digitaria, en concentrations nettement supérieures aux sorghos et aux pennisetum, en particulier de fortes concentrations de cobalt sont relevées aussi bien dans le grain vêtu que dans le grain nu. Ces constatations toutefois ne permettent pas de conclure à des teneurs excessives. Il faut encore souligner l'importance de plusieurs autres éléments traces : l'aluminium, le baryum, le chrome, le nickel, le plomb, le titane. Les éléments suivants étaient indosables comme dans les sorghos et les pennisetum : Ag, Be, Bi, Ga, Ge.

En résumé, les digitaria étudiés sont particulièrement riches en oligo-éléments et autres éléments à l'état de traces; plus riches à ce point de vue que les sorghos et les pennisetum, ils sont en revanche sensiblement plus pauvres en éléments majeurs; potassium, magnésium et phosphore.

TABLEAU XI

*Analyse des Digitaria*

Dosage des oligo-éléments. — Résultats exprimés en p. p. m.

	Al	B	Ba	Co	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Rb	Sn	Sr	Ti	V	Zn
30.....	350	2	46	4	14	19	120	0,4	96	5	14,5	14	1,8	2	1	18	0,2	23
31.....	92	1	20	4	12	9	34	0,3	32	12	20	6	1,3	2	4	14	< 0,1	40
33.....	140	1	22	4	18	16	104	0,3	31	4,5	13,5	13,5	1,4	2	1	18	0,2	15
34.....	160		24	1,2	10	21	40	0,2	28	4,5	12	10	1,2	1,5	4	12	< 0,1	21

Pour les quatre échantillons : Ag < 0,05; Be < 0,5; Bi < 0,5; Ga < 0,1; Ge < 1

C. Les *Pennisetum*

Disposant ici d'un nombre plus important d'échantillons, de plusieurs espèces : 1 échantillon *P. Maïwa* (n° 32), 1 échantillon *P. Gambiense* (n° 35), 17 échantillons *P. Pycnostachyum* (n°s 36 à 52), provenant d'ailleurs de plusieurs origines sénégalaises, on peut tenter de dégager une composition analytique moyenne intéressant l'ensemble des éléments étudiés et pouvant être comparée aux autres produits analysés dans cette étude. Les résultats sont rapportés dans les tableaux XII et XIII. Un examen rapide montre tout d'abord les valeurs de Na, K et P sensiblement plus faibles dans les n°s 32 et 35 (*P. Maïwa* et *P. Gambiense*) que dans la plupart des numéros suivants : (*P. Pycnostachyum*).

Il serait intéressant de vérifier cette observation en examinant un nombre plus grand de *P. Maïwa* et de *P. Gambiense*.

TABLEAU XII

*Analyse des Pennisetum*

Dosage des éléments majeurs. — Résultats exprimés en p. 100 de matière sèche

	Na	K	Ca	Mg	P
32.....	0,01	0,33	0,01	0,17	0,50
35.....	0,01	0,31	0,01	0,18	0,55
36.....	0,01	0,39	0,01	0,21	0,75
37.....	0,02	0,37	0,01	0,20	0,70
38.....	0,02	0,37	0,01	0,20	0,67
39.....	0,02	0,37	0,01	0,21	0,69
40.....	0,02	0,35	0,01	0,20	0,58
41.....	0,02	0,37	0,01	0,20	0,70
42.....	0,02	0,37	0,01	0,19	0,69
43.....	0,02	0,36	0,01	0,19	0,68
44.....	0,03	0,35	0,02	0,07	0,71
45.....	0,03	0,32	0,02	0,16	0,64
46.....	0,03	0,33	0,02	0,11	0,67
47.....	0,03	0,35	0,01	0,16	0,69
48.....	0,04	0,43	0,03	0,10	0,75
49.....	0,04	0,33	0,02	0,13	0,70
50.....	0,04	0,37	0,01	0,16	0,70
51.....	0,04	0,32	0,01	0,09	0,68
52.....	0,04	0,40	0,01	0,06	0,70

TABLEAU XIII

*Analyse des Pennisetum*

Dosage des oligo-éléments. — Résultats exprimés en p. p. m.

N°	Al	B	Ba	Co	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	Rb	Sn	Sr	Ti	V	Zn
32.....	16	2	0,1	< 0,5	< 0,04	4	41	< 0,04	15	< 0,04	0,1	0,04	1,2	< 0,04	0,1	0,1	< 0,1	23
35.....	30	3	0,4	< 0,5	0,04	5	79	< 0,04	14	0,4	1,5	0,1	2,2	< 0,04	0,4	0,1	< 0,1	19
36.....	18	3	0,6	< 0,5	< 0,04	5,5	53	< 0,04	14	0,8	2,2	0,2	5,5	0,04	0,6	0,07	< 0,1	36
37.....	14	2	0,4	< 0,5	< 0,04	4	41	< 0,04	11	0,5	0,5	0,04	4,2	0,04	0,4	0,3	< 0,1	33
38.....	12	2	0,4	< 0,5	< 0,04	4,5	27	< 0,04	15	< 0,04	0,2	< 0,05	1,4	0,04	0,2	0,3	< 0,1	39
39.....	15	3	0,5	< 0,5	0,04	3	47	< 0,04	14	1	1,8	0,1	5,4	0,04	0,5	0,2	< 0,1	29
40.....	5	1,5	0,7	0,6	0,2	3	49	< 0,04	18	0,6	3,4	0,2	5,1	0,04	0,3	0,2	< 0,1	51
41.....	29	0,5	0,5	< 0,5	0,04	4	41	< 0,04	5	1	0,3	0,2	4,2	0,04	0,5	0,2	< 0,1	31
42.....	11	1	0,5	< 0,5	0,3	22	32	< 0,04	10	1	0,5	1,6	4,8	0,04	0,5	0,2	< 0,1	30
43.....	10	2	0,5	< 0,5	0,04	4	37	0,2	10	1,3	0,8	0,04	6,8	1,3	0,5	0,2	< 0,1	30
44.....	18	2	0,5	< 0,5	< 0,04	3	36	< 0,04	12	1,8	0,05	0,05	1,8	< 0,04	0,05	0,2	< 0,1	29
45.....	12	1	0,2	< 0,5	0,05	4	58	< 0,04	14	1,6	1,6	0,05	1,6	< 0,04	0,2	0,2	< 0,1	36
46.....	14	2	0,2	< 0,5	0,05	6	29	< 0,04	11	3,2	0,2	0,05	2,4	< 0,04	0,05	0,2	< 0,1	30
47.....	20	1	0,3	< 0,5	0,18	22	38	0,06	14	0,6	0,5	1,8	2,7	5,7	0,2	0,2	< 0,1	30
48.....	17	1	0,2	< 0,5	0,06	2	44	< 0,04	13	3	0,2	0,05	0,6	< 0,04	0,06	0,2	< 0,1	28
49.....	15	4	0,2	< 0,5	0,05	5	37	< 0,04	12	0,5	0,2	0,05	2,6	< 0,04	0,2	0,2	< 0,1	42
50.....	14	2	0,2	< 0,5	0,06	4	46	0,1	13	1,6	0,2	0,2	3,2	< 0,04	0,05	0,2	< 0,1	37
51.....	28	2	0,5	0,5	0,2	6	46	0,1	13	0,2	5	0,2	2,6	< 0,04	0,05	0,2	< 0,1	29
52.....	18	1	0,4	< 0,5	0,2	4	53	0,1	16	4	2	0,06	7	< 0,04	0,06	0,2	< 0,1	26

Pour tous ces échantillons : Ag < 0,05; Be < 0,5; Bi < 0,5; Ga < 0,1; Ge < 1

Compte tenu de cette remarque, on constate que dans l'ensemble, les valeurs de K, Ca, Mg et P sont assez groupées; ainsi K varie de 0,31 à 0,43 p. 100 et P de 0,50 à 0,70 p. 100. Si l'on effectue les moyennes des résultats de Na, K, Ca, Mg et P, on obtient les valeurs approximatives suivantes :

Na 0,026 p. 100; K 0,36 p. 100; Ca 0,013 p. 100; Mg 0,16 p. 100; P 0,67 p. 100.

Ceci montre en particulier une teneur moyenne forte en phosphore, plus forte que pour les sorghos; le sodium est également trouvé en quantités plus fortes.

Les dosages d'oligo-éléments conduisent aux remarques suivantes : les valeurs moyennes sont (en p.p.m.) :

B 1,9; Cu 4,2; Fe 44; Mn 13; Mo 1,2; Zn 32; valeurs que l'on peut considérer comme normales pour un milieu végétal; on relève cependant quelques valeurs particulièrement fortes : 22 p.p.m. de cuivre dans les n<sup>os</sup> 42 et 47; plusieurs produits sont forts en molybdène. Pour les autres éléments traces on a : Al 16,6; Ba 0,4; Co  $\leq$  0,5; Cr  $\leq$  0,3; Li  $\leq$  0,1; Ni 1,1; Pb 0,18; Rb 3,4; Sn  $\leq$  0,04; Sr 0,27; Ti 0,18; quelques résultats se différencient de ces moyennes le plomb et l'étain sont forts dans l'échantillon n<sup>o</sup> 47, déjà noté riche en cuivre. L'origine de ces fortes concentrations doit être recherchée dans le sol, susceptible de contenir de fortes quantités de ces éléments sous forme facilement assimilable. Sont indosables, les éléments suivants : Ag, Be, Bi, Ga, Ge, V.

Bien qu'il soit difficile de comparer les trois espèces étudiées, puisque l'on ne dispose que d'un échantillon de P. Maïwa et P. Gambiense, il apparaît cependant que P. Maïwa analysé est relativement pauvre en oligo-éléments et autres éléments à l'état de traces.

Dans le groupe des P. Pycnostachyum on ne relève pas de différences significatives dans les teneurs d'oligo-éléments en fonction de l'origine géographique : Bambey, Lambaye, Takhoum; cette remarque est également valable pour les éléments majeurs. En résumé, de teneurs moyennes en oligo-éléments, les pennisetum apparaissent sensiblement plus pauvres que les sorghos;

Quelques teneurs anormalement fortes ont été relevées; les pennisetum sont parmi les produits étudiés les plus riches en phosphore.

#### D. Éleusine Cocarana

L'analyse de cette céréale aboutit à des résultats différents des précédents pour les éléments majeurs; on obtient ainsi : Na 0,02 p. 100; K 0,33 p. 100; Ca 0,27 p. 100; Mg 0,14 p. 100; P 0,06 p. 100.

La comparaison de ces valeurs avec les valeurs moyennes des sorghos, des pennisetum et des digitaria nus montre des concentrations de Na, K et Mg du même ordre, en revanche, on trouve dans l'éleusine une teneur très supérieure en calcium (0,27 p. 100) et une valeur plus faible pour le phosphore.

Les résultats des oligo-éléments sont les suivants en p.p.m. : B < 0,5; Cu 5; Fe 48; Mn 19; Mo 2; Zn 15.

Ces teneurs sont dans l'ensemble plus faibles que dans les autres céréales analysées. Les autres éléments à l'état de traces sont : Al 4; Ba 22; Be < 0,5; Bi < 0,5; Co < 0,1; Cr 0,2; Ga < 0,1; Ge < 0,1; Li 2; Ni 0,2; Pb 6; Rb 2; Sn 0,06; Sr 33; Ti 0,3; V 0,4. Toutes ces valeurs sont généralement faibles; à noter cependant la concentration de 33 p.p.m. de strontium, exceptionnellement forte; la forte concentration du baryum doit être également soulignée : dans cette plante, Ba et Sr semblent accompagner le calcium (0,27 p. 100) également plus fort que dans les autres céréales.

### CONCLUSIONS

Si l'on constate une homogénéité certaine en ce qui concerne les « macro-éléments » dans les diverses plantes étudiées, il n'en est pas de même pour les oligo-éléments, probablement par suite des deux phénomènes qui se superposent et dont nous avons parlé plus haut; d'ailleurs, cette différence entre macro et oligo-éléments a été signalée bien souvent dans les sols; cependant, nous avons voulu calculer quelques moyennes pour les sorghos et les pennisetum, pour essayer d'en tirer des valeurs globales comparables entre elles et comparables également aux digitaria (échantillons nus) et à l'éleusine. Ces valeurs sont rapportées tableau XIV. On constate ainsi que les sorghos sont les

TABLEAU XIV

*Valeurs moyennes comparatives des différentes plantes*

	Macro-éléments (p. 100)				
	Na	K	Ca	Mg	P
Sorghos .....	0,018	0,40	0,020	0,18	0,49
Pennisetum .....	0,026	0,36	0,013	0,16	0,67
Digitaria (nus) .....	0,020	0,16	0,010	0,04	0,17
Eleusine .....	0,020	0,33	0,270	0,14	0,06

	Oligo-éléments (p. p. m.)					
	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
Sorghos .....	1,3	5,4	67	21	4	37
Pennisetum .....	1,9	4,2	44	13	1,2	32
Digitaria (nus) .....		15	37	30	4,5	30
Eleusine .....	<0,5	5	48	19	2	15

plus riches en potassium et magnésium bien qu'assez peu différents des pennisetum; ces derniers sont particulièrement riches en phosphore; l'éleusine est riche en calcium et très pauvre en phosphore, alors que les digitaria étudiés sont relativement pauvres en macro-éléments, ils sont les plus riches en oligo-éléments. Viennent ensuite les sorghos; les pennisetum, enfin l'éleusine.

Cette étude avait pour but essentiel outre la description des méthodes modernes d'analyses employées, d'apporter une contribution à un domaine mal connu malgré la somme considérable de travaux qui ont été consacrés à l'étude de ces plantes.

### BIBLIOGRAPHIE

1. BOVAY E., COSSY, *Trav. Chim. alim. Hyg.*, 1955, p. 46. — 2. BUSSON F., BONO M. et coll., *Agron. Trop. Nogent* (sous presse). — 3. CARBIENER R. et coll., *Ann. Nutr. Alim.*; 1960, 14, 165. — 4. FARMER V., *Spectrochim. Acta*, 1950, 4, 224. — 5. GAYTE-SORBIER A. et coll., *J. Agric. trop. Bot. appl.*, 1960, 7, 383. — 6. GORFINKEL E., POLLARD A., *J. Sci. Ed Agric.*, 1952, 3, 622. — 7. JAVILLIER M., BERTRAND., in *Traité de Biochimie générale*, Masson, 1959. — 8. LANZA M. et coll., *Med. Trop.*, 1962, 22, 471. — 9. MARCHAL A., *Agron. trop. Nogent*, 1950, 6, 582. — 10. MITCHELL R., *The spectrographic analysis of soils, plants and related materials*. London : Commonwealth Bureau of soil Science, 1948.
11. PINTA M., *Recherche et Dosage des éléments traces*. Paris, Dunod, 1962. — 12. PORTÈRES R., *Agron. trop. Nogent*, 1950, 5, 489. — 13. SNOWDEN J., *The Cultivated races of Sorghum*. London, Adlard, 1935. — 14. STAFF O., HUBBARD C., in *Flora of Tropical Africa* t. IX. Brook near Ashford; Reeve 1934.



# ÉTUDE CHIMIQUE

## SUR LES SORGHOS ET MILS AFRICAINS

*(Éléments minéraux et oligo-éléments)*

par

M. PINTA

et

F. BUSSON

Maître de Recherches à l'O. R. S. T. O. M.

Pharmacien lieutenant-colonel du Service  
de Santé des Troupes de Marine

Centre Scientifique et Technique,  
80, route d'Aulnay, Bondy (Seine)

Laboratoire de Recherches biochimiques  
du Service de Santé des Troupes de Marine,  
Parc du Pharo, Marseille (7<sup>e</sup>)

---

Extrait des ANNALES DE LA NUTRITION ET DE L'ALIMENTATION

1963, Vol. XVII, N° 2



B 29604, ex 1