

DIRECTION  
POUR LE DÉVELOPPEMENT  
DE L'ÉCONOMIE RURALE  
SERVICE DE LA RECHERCHE  
DE LA FORMATION  
ET DE LA DIFFUSION  
CENTRE DE RECHERCHE ET  
D'EXPÉRIMENTATION AGRONOMIQUES  
DE NESSADIOU

INSTITUT FRANÇAIS  
DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
POUR LE DÉVELOPPEMENT  
EN COOPÉRATION  
(ORSTOM)

CENTRE DE NOUMÉA

UR E9

.

**INFLUENCE DE LA FUMURE POTASSIQUE  
SUR LA CROISSANCE  
ET LES IMMOBILISATIONS MINÉRALES DU MAÏS  
CULTIVÉ SUR VERTISOL HYPER MAGNÉSIE**

.

P. ANDRE et B. BONZON  
L. COLLET et C. BOUCARON

Collaboration technique: E. OUCKEWEN ET L. TAPUTUARAI

JUIN 1985

*République Française*

*NOUVELLE-CALEDONIE  
et  
DEPENDANCES.*

Direction pour le Développement  
de l'Economie Rurale  
Service de la Recherche, de la Formation  
et de la Diffusion  
Centre de Recherches et d'Etudes Agronomiques  
de Nessadiou.

Institut Français  
de Recherche Scientifique  
pour le Développement en Coopération  
(ORSTOM)  
Centre de Nouméa  
Laboratoire d'Agronomie et de Pédologie.

INFLUENCE DE LA FUMURE POTASSIQUE  
SUR LA CROISSANCE ET LES IMMOBILISATIONS  
MINERALES DU MAIS CULTIVE SUR  
VERTISOL HYPER-MAGNESIEN.

Etude expérimentale conduite en serre sur vases de végétation  
par

P. ANDRE, B. BONZON, L. COLLET et C. BOUCARON.  
avec la collaboration technique  
de  
E. OUKEWEN et L. TAPUTUARAI.

---

ixième Convention Territoire-ORSTOM pour l'étude des effets des amendements calciques  
sur les sols cultivables de la Nouvelle-Calédonie.

P L A N .

|  | Page |
|--|------|
| I INTRODUCTION .....   | 2    |
| II MATERIEL ET METHODES .....  | 2    |
| 1. le sol utilisé .....  | 2    |
| 2. dispositif expérimental.....  | 3    |
| 3. amendement calcique et fumure .....   | 4    |
| 4. observations et mesures .....   | 4    |
| 5. analyse statistique des résultats .....   | 10   |
| III RESULTATS .....  | 10   |
| 1. influence de la fumure potassique sur la croissance en hauteur                                  | 10   |
| 2. influence de la fumure potassique sur l'indice de carence en calcium .....                      | 10   |
| 3. influence de la fumure potassique sur le poids de matière sèche .....                           | 11   |
| 4. influence de la fumure potassique sur les teneurs et les exportations .....                     | 11   |
| IV DISCUSSION .....  | 14   |
| 1. croissance en hauteur et rendement .....  | 14   |
| 2. signes de carence .....   | 15   |
| 3. l'évolution des teneurs des tiges et feuilles en éléments majeurs synergie et antagonisme ..... | 16   |
| V CONCLUSION .....   | 17   |
| ANNEXE .....   | 21   |
| BIBLIOGRAPHIE .....  | 19   |

-oOo-

DOCUMENT ANNEXE  
(3 annexes, 78 pages).

## I - INTRODUCTION.

A la suite de la première année d'expérimentation conjointe CREA-ORSTOM (1984) sur un vertisol hyper-magnésien de la vallée de la TAMOA, plusieurs hypothèses ont été formulées pour expliquer la bonne croissance du maïs sur les parcelles n'ayant pas reçu d'amendement calcique alors que dans les essais préliminaires en serre, la croissance des plantes sur les pots sans calcium était très réduite.

Une de ces hypothèses était l'existence d'un antagonisme important au niveau de la plante entre le potassium et le calcium d'une part et le potassium et le magnésium d'autre part. Cet antagonisme a été mis en évidence par de nombreux auteurs sur le maïs et sur d'autres céréales (KHANNA et PARKASH, 1969, PATHAK et KALRA, 1971 ; TERMAN et al., 1975 ; etc...). Ce phénomène entrainerait un renforcement de la carence en calcium chez les plants de maïs, ce qui pourrait expliquer les différences observées entre les essais en serre et l'essai au champ : en effet, en serre, la fumure potassique a été importante, alors qu'elle était faible au champ. Nous avons donc mis en place, début 1985, un essai en serre visant à confirmer ou à infirmer cette hypothèse.

## II - MATERIEL ET METHODES.

### 1/ Le sol utilisé

Le sol retenu pour cette étude est le vertisol hypermagnésien de la TAMOA (BEAUDOU et al. 1983) dont les principales caractéristiques de l'horizon 0-20cm utilisé sont décrites dans le tableau I :

|                 | Granulométrie (%) |      |    |      |     | pH eau | C%  | N‰  | Complexe échangeable (meg/100g) |      |      |      |      |      | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilable (ppm) |
|-----------------|-------------------|------|----|------|-----|--------|-----|-----|---------------------------------|------|------|------|------|------|---|
|                 | A                 | LF   | LG | SF   | SG  |        |     |     | Ca                              | Mg   | K    | Na   | S    | T    |   |
| Horizon 0-20 cm | 47,2              | 16,3 | 9  | 14,4 | 8,1 | 5,8    | 2,6 | 2,0 | 4,5                             | 41,9 | 0,27 | 0,36 | 47,1 | 52,5 | 15,8  |

TABLEAU I : Caractéristiques physiques et chimiques du sol étudié.

La texture est argileuse. L'horizon de surface est pauvre en potassium échangeable et en phosphore assimilable. Environ 80% de la capacité d'échange est saturé par le magnésium. Le rapport Mg/Ca échangeable est de 0,3.

## 2) Dispositif expérimental.

### 2.1. Type de l'essai.

L'essai est du type à un seul facteur contrôlé, à  $k_F = 4$  variantes (indicées  $i$ ), représentées complètement dans  $k_B = 6$  blocs (indicés  $l$ ) entièrement randomisés.

Chacun des 24 traitements élémentaires "il" comporte 2 pots en position Est-Ouest.

### 2.2. Variantes du facteur contrôlé.

Les 4 niveaux (variantes) du facteur contrôlé "fumure potassique" sont indiqués dans le tableau II ci-dessous.

| Niveaux<br>$i$ | Quantités de potassium apportées et équivalentes |                                       |                       |
|----------------|--|---------------------------------------|-----------------------|
|                | en ppm de $K_2O$                                 | en mg de $SO_4 K_2$ par pot<br>de 5kg | en kg/ha<br>de $K_2O$ |
| 1              | 0  | 0                                     | 0                     |
| 2              | 22,69  | 210                                   | 68                    |
| 3              | 68,07  | 630                                   | 204                   |
| 4              | 136,14   | 1260                                  | 408                   |

TABEAU II : Fumures potassiques testées.

Le niveau 2 correspond à peu près à la fumure potassique appliquée sur l'expérimentation AC/VHM-84 de la TAMOA\*. Cette fumure compenserait les exportations de potassium par les grains d'une parcelle produisant 15t/ha.

Le niveau 3 correspond aux immobilisations minérales dans les parties aériennes du maïs d'une telle parcelle.

---

\* Pour mémoire les pots de culture contiennent 5 kg de terre et l'on considère que les engrais et les amendements calciques appliqués au champ concernent environ 3000t/ha de terre.

Le niveau 4 est certainement excessif par rapport aux besoins maxima du maïs.

Le potassium sera apporté en solution dans les eaux d'irrigation, au semis (cf. tableau III).

### 3) Amendement calcique et fumure.

La terre des pots a été amendée avec de la croûte calcaire titrant 42 % de CaO en provenance du Col des Arabes (mélange de 15,87 g/pot de croûte correspondant à une application de 4t/ha de CaO ).

Les quantités d'azote, de phosphore et d'oligo-éléments à apporter par pot sont indiquées dans le tableau III ci-après.

Le phosphore et les oligo-éléments seront apportés en une seule fois au semis. L'azote sera fourni en 3 fois, au semis, au 11ème et au 18ème jours.

### 4) Observations et mesures.

Les informations recueillies consistent :

#### 4.1. en cours de végétation, en :

- . des mesures de hauteur, du sol au point d'insertion sur la tige de la dernière feuille complètement dégainée ;
- . des comptages de feuilles complètement dégainées ;
- . des attributions d'indice de carence (indice décrit dans ANDRE et BONZON 1986) ;
- . des observations qualitatives ;

#### 4.2. à la récolte, en :

- . les observations et les mesures précédentes ;
- . la mesure de la hauteur totale, du sol au bout de la feuille redressée verticalement la plus haute ;

Tableau III - QUANTITES D'ELEMENTS A APPORTER PAR POT.

| Eléments.                     | Variantes<br>i | Formes   | Concentrations des solutions-mères en g/l de sel ou d'acide | Volumes en ml des solutions mères à apporter par pot à chaque épandage. | Quantités d'éléments en mg/pot à apporter aux |          |          | Equivalents en kg/ha |
|-------------------------------|----------------|--|---|---|---|----------|----------|----------------------|
|                               |                |  |   |   | semis   | 11ème j. | 18ème j. |                      |
| N                             | -              | NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>  | 51,43   | 10  | 219,44  | 180      | 180      | 348                  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | -              | NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>   | 32,68   | 10  | 200,00  | -        | -        | 120                  |
| K <sub>2</sub> O              | 2              | K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>   | 21,000  | 10  | 113,45  | -        | -        | 68                   |
|                               | 3              | d°   | d°  | 30  | 340,34  | -        | -        | 204                  |
|                               | 4              | d°   | d°  | 60  | 680,69  | -        | -        | 408                  |
| B                             | -              | H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>   | 1,000   | 10  | 1,75  | 1,75     | -        | 1,05                 |
| Cu                            | -              | CuSO <sub>4</sub> , 5 H <sub>2</sub> O   | 1,565   | 10  | 3,98  | 3,98     | -        | 2,39                 |
| Mo                            | -              | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> MO <sub>7</sub> O <sub>24</sub> , 1,5 H <sub>2</sub> O | 0,080   | 10  | 0,45  | 0,45     | -        | 0,27                 |
| Zn                            | -              | ZnSO <sub>4</sub> , 7 H <sub>2</sub> O   | 1,200   | 10  | 2,73  | 2,73     | -        | 1,64                 |
| CaO                           | -              | Ca CO <sub>3</sub> *   | -   | -   | 6665,50                                       | -        | -        | 4000                 |

\* Apporté sous forme de poudre et mélangé à sec avec la terre des pots avant le remplissage de ces derniers.

**Tableau IV - ANALYSE DE VARIANCE : ESTIMATIONS DES TERMES DU MODELE ; VARIANCE DES EFFETS DES FACTEURS CONTROLES ; TESTS F.**

Modèle linéaire :  $x_{il} = \bar{x} + f_i + b_l + e_{il}$  avec  $x_{il} - \bar{x} = g_{il}$

| Termes du modèle | Significations  | Estimations des termes                              | Degrés de liberté                 | Variances des effets                   | Tests F               | Observations |
|------------------|---|---|-----------------------------------|--|-----------------------|--------------|
| $x_{il}$         | Valeur de X observée sur la parcelle du 1 <sup>eme</sup> bloc soumise à l'effet de la variante i du facteur contrôlé Fumure | -   | -                                 | -                                      | -                     | -            |
| $\bar{x}$        | Moyenne générale de X   | -   | -                                 | -                                      | -                     | -            |
| $f_i$            | Effet sur X de la i <sup>eme</sup> variante du facteur Fumure   | $f_i = \bar{x}_i - \bar{x}$                         | $d_F = n_F - 1$                   | $s_F^2 = (n_B \cdot \sum f_i^2) / d_F$ | $F_F = s_F^2 / s_E^2$ | -            |
| $b_l$            | Effet sur X de la l <sup>eme</sup> répétition   | $b_l = \bar{x}_l - \bar{x}$                         | $d_B = n_B - 1$                   | $s_B^2 = (n_F \cdot \sum b_l^2) / d_B$ | $F_B = s_B^2 / s_E^2$ | Non licite   |
| $e_{il}$         | Effet sur X des facteurs aléatoires attachés à la il <sup>eme</sup> parcelle.   | $e_{il} = x_{il} - \bar{x}_i - \bar{x}_l + \bar{x}$ | $d_E = (n_F - 1) \cdot (n_B - 1)$ | $s_E^2 = (\sum_{il} e_{il}^2) / d_E$   | -                     | -            |
| $g_{il}$         | Variation générale de X   | $g_{il} = x_{il} - \bar{x}$                         | $d_G = n_F \cdot n_B - 1$         | $s_G^2 = (\sum_{il} g_{il}^2) / d_G$   | $F_G = s_G^2 / s_E^2$ | Non licite   |



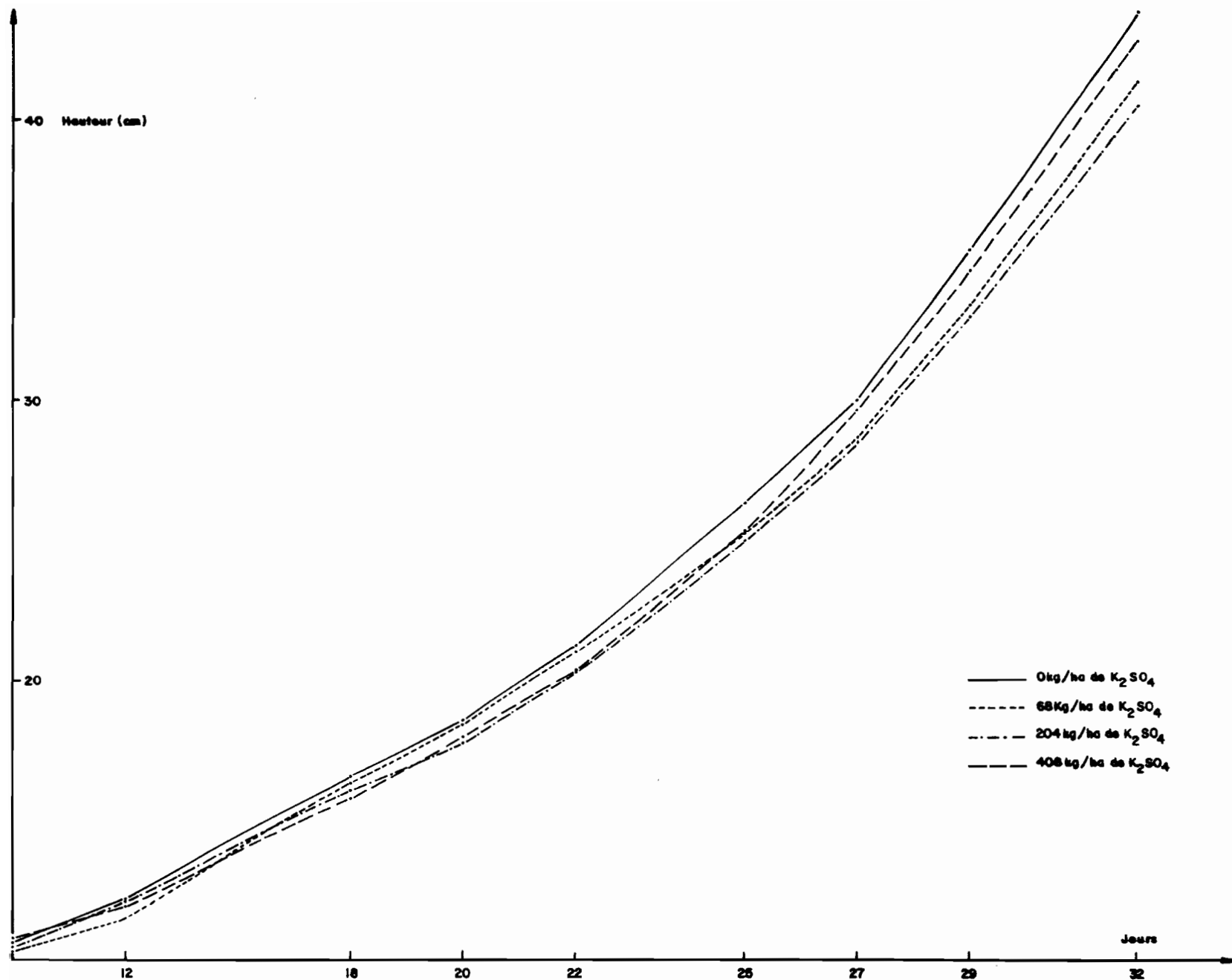


Fig.1 - Courbe de croissance en hauteur en fonction des fumures potassiques

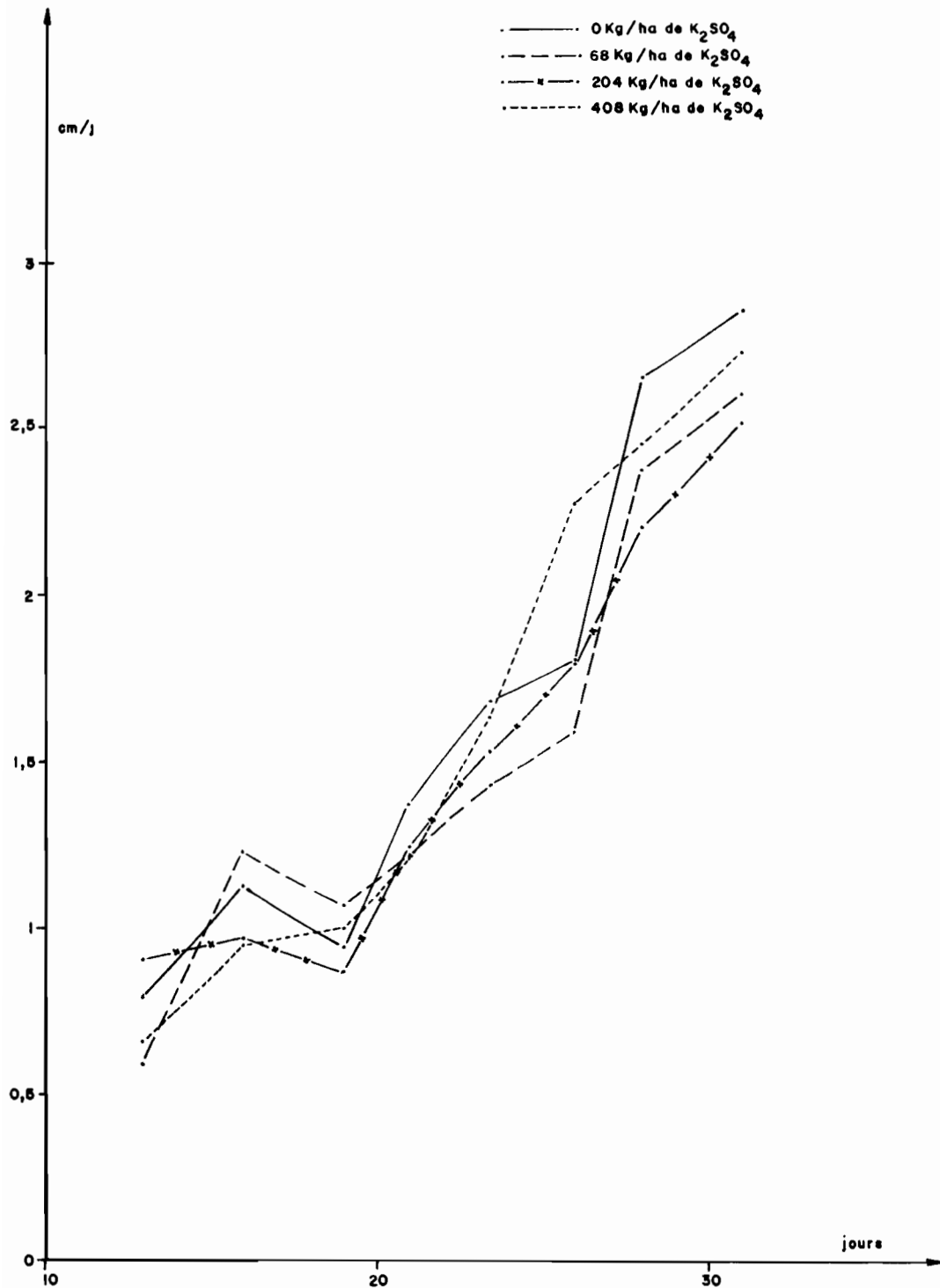


Fig. 2 - Courbe des vitesses de croissance en fonction des fumures potassique

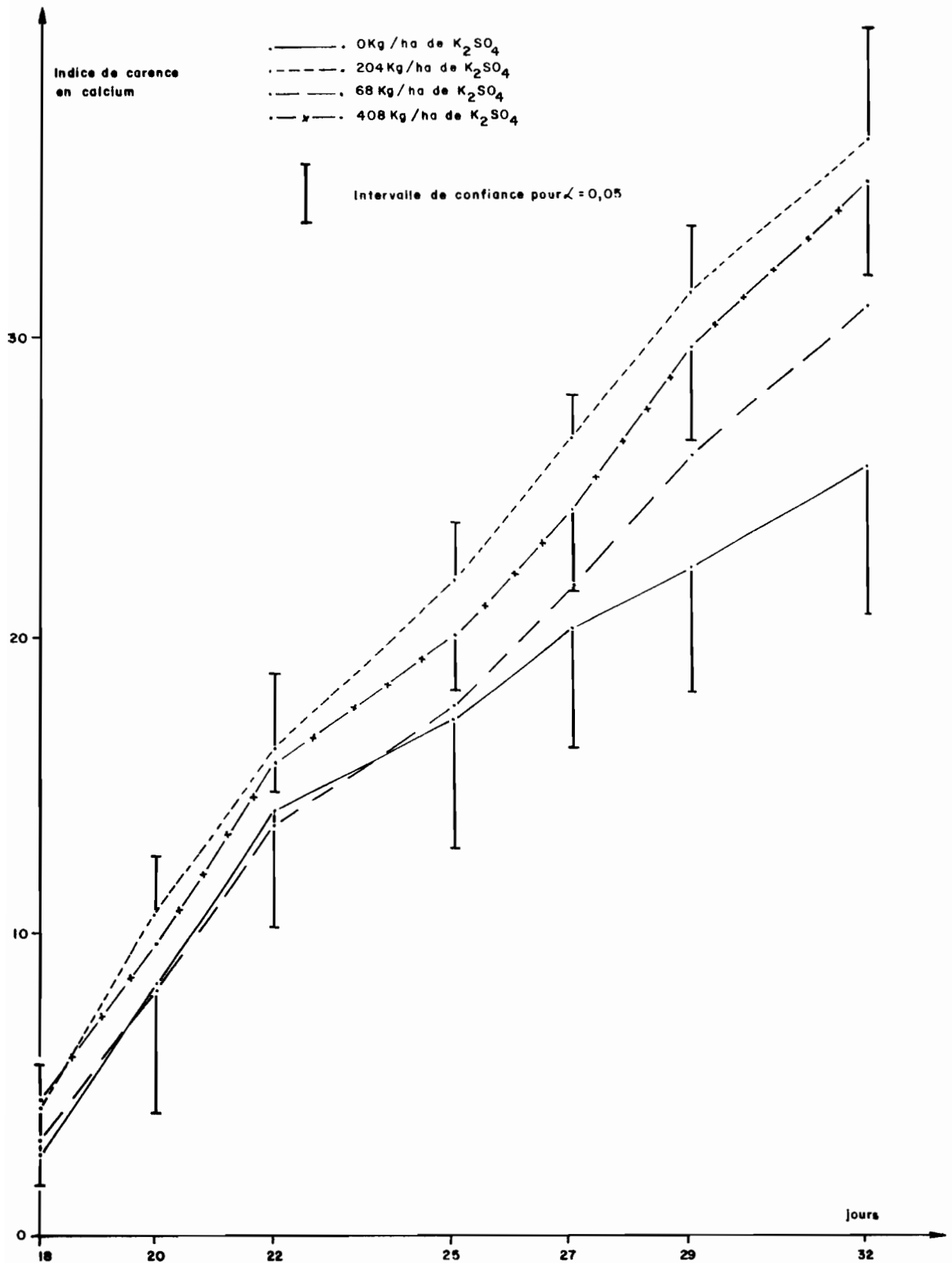


Fig. 3 - Evolution de l'indice de carence en calcium en fonction du temps et des doses

4.3. après la récolte, en :

- . la détermination du poids de matière sèche des plants ;
- . la détermination des teneurs en azote, phosphore, potassium, sodium, calcium et magnésium des plants (dosés par spectromètre d'absorption atomique).

5) Analyse statistique des résultats.

Le modèle linéaire d'analyse de la variance est décrit dans le tableau IV. Les valeurs des degrés de liberté sont les suivants :  $d_F = 3$  ;  $d_B = 5$  ;  $d_E = 15$  ;  $d_G = 23$ . La comparaison des moyennes relatives au facteur fumure s'est fait grâce au test de Newmann et Keul.

III - RESULTATS.

1) Influence de la fumure potassique sur la croissance en hauteur.

Les doses croissantes de  $K_2SO_4$  n'ont pas d'effet significatif sur la croissance en hauteur jusqu'à la fin de l'expérience (voir fig. I et Annexe ). On peut remarquer toutefois que la probabilité attachée au test statistique augmente régulièrement, alors que le coefficient de variation reste environ constant. Le facteur fumure n'a pas non plus d'effet significatif sur les vitesses de croissance (fig. 2) sauf entre le 14ème et 18ème jour. Il est à noter que le coefficient de variation est en général élevé et varie beaucoup (de 10 à 36%).

2) Influence de la fumure potassique sur l'indice de carence en Calcium.

L'évolution de l'indice de carence est représentée sur la figure 3. En début de croissance, les 2 plants d'une même sous-parcelle présentent des symptômes de carence dont l'intensité (= gravité) est très variable. Cela se traduit par un coefficient de variation très élevé (41,4%). Puis, au cours de l'expérimentation, il y a homogénéisation progressive des symptômes, ce qui se traduit statistiquement par une baisse du coefficient de variation qui diminue jusqu'à 12,8 % au 32ème jour de croissance. Ceci a déjà été observé dans d'autres essais (ANDRE et BONZON 1986).

On observe des différences statistiquement significative à partir du 25ème jour de croissance (voir Annexe, paramètre CCA5). Ces différences deviennent de plus en plus significatives au cours du temps (seuil 5% le 25ème jour et seuil 2°/∞ le 32ème jour). Les doses 68, 204 et 408 kg/ha de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> présentent des symptômes de carence en calcium plus fort que la dose 0kg/ha de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

3) Influence de la fumure potassique sur le poids de matière sèche.

Les différentes fumures appliquées n'ont pas d'effet significatif sur le poids de matière sèche (voir Annexe). Cependant, on constate une tendance à la diminution du rendement quand les doses de potassium augmentent. On peut remarquer que le classement des 4 doses pour ce paramètre est l'inverse de celui pour l'indice de carence en calcium au 32ème jour (CCA7).

4) Influence de la fumure potassique sur les teneurs et les exportations.

| Doses de K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub><br>(kg/ha) | Rendement<br>(g/pot) | Teneurs (%)       |                   |                  |                   |                   | Exportation (mg/pot) |                  |                   |     |    |
|--|----------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|----------------------|------------------|-------------------|-----|----|
|  |                      | Ca                | Mg                | K                | N                 | P                 | Ca                   | Mg               | K                 | N   | P  |
| 0  | 25,1                 | 0,12 <sup>a</sup> | 0,76 <sup>a</sup> | 2,3 <sup>a</sup> | 2,9 <sup>a</sup>  | 0,24 <sup>a</sup> | 31 <sup>a</sup>      | 189 <sup>a</sup> | 568 <sup>a</sup>  | 717 | 60 |
| 68   | 21,8                 | 0,12 <sup>a</sup> | 0,66 <sup>b</sup> | 3,2 <sup>b</sup> | 3,2 <sup>ab</sup> | 0,29 <sup>b</sup> | 26 <sup>b</sup>      | 145 <sup>b</sup> | 697 <sup>b</sup>  | 696 | 63 |
| 204  | 20,0                 | 0,10 <sup>b</sup> | 0,58 <sup>c</sup> | 4,0 <sup>c</sup> | 3,4 <sup>b</sup>  | 0,32 <sup>b</sup> | 21 <sup>bc</sup>     | 116 <sup>c</sup> | 799 <sup>bc</sup> | 669 | 63 |
| 408  | 21,8                 | 0,09 <sup>c</sup> | 0,46 <sup>d</sup> | 4,8 <sup>d</sup> | 3,4 <sup>b</sup>  | 0,33 <sup>b</sup> | 20 <sup>c</sup>      | 101 <sup>c</sup> | 1033 <sup>c</sup> | 737 | 70 |

Rq : les moyennes suivies par une même lettre sont statistiquement identiques.

Tableau V - Rendement, teneurs et exportations en fonction de la fumure potassique.

Le facteur fumure a une influence significative sur les teneurs en Calcium, magnésium, potassium, azote et phosphore. Les teneurs en Calcium et magnésium diminuent alors que les trois dernières augmentent. Plus précisément :

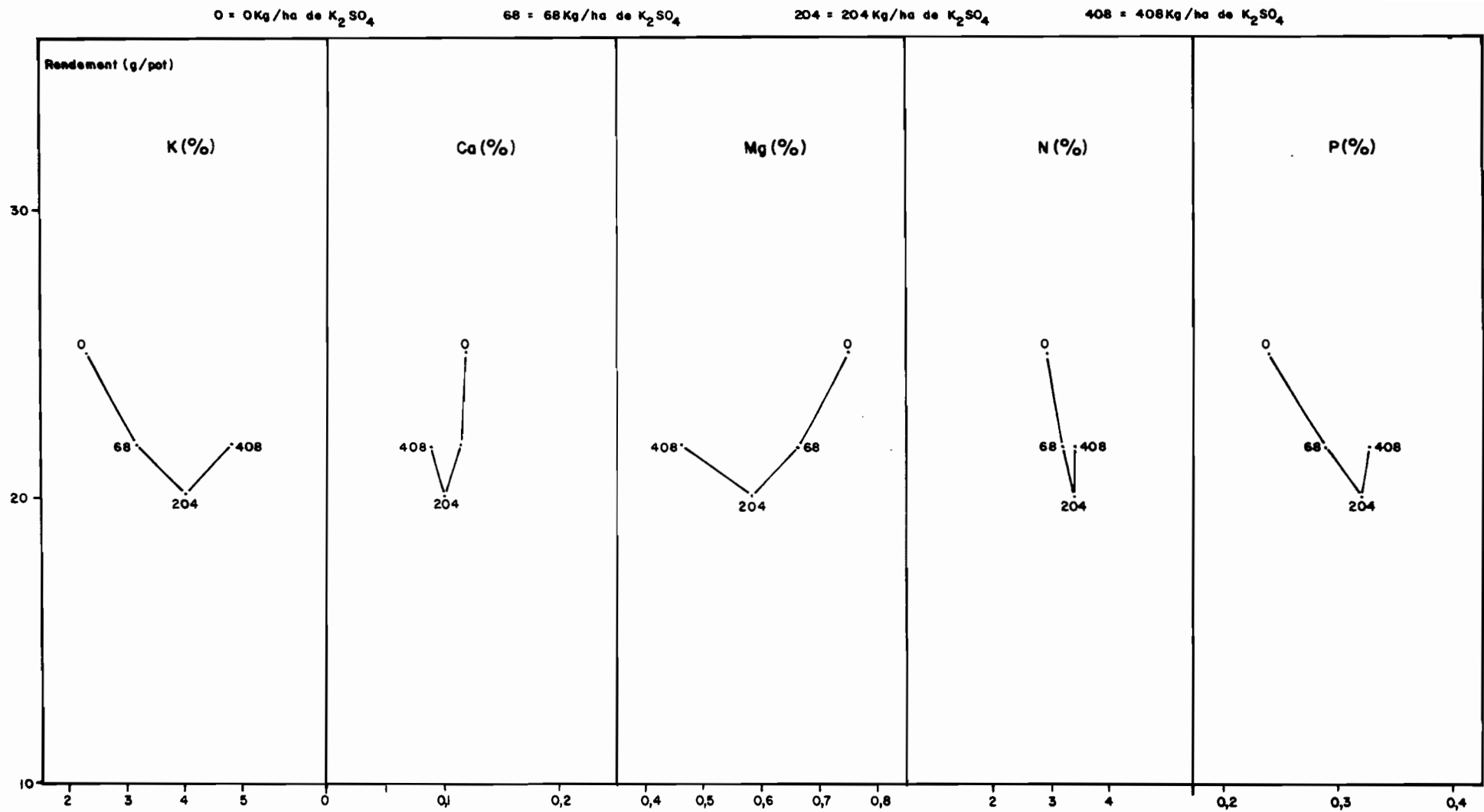


Fig. 4 - Evolution des teneurs en éléments majeurs des plants en fonction du rendement et des doses

- la baisse de la teneur en calcium est très hautement significative ( $\alpha < 0,001$ ) bien que celle-ci soit faible en valeur absolue (0,12 % à 0,09 %), ce qui représente tout de même une baisse de 25 %. Le coefficient de variation est faible, ce qui permet d'avoir un test très puissant.

- la baisse de la teneur en magnésium est très hautement significative ( $\alpha < 0,001$ ). La baisse est relativement importante (39,5 %).

- il y a augmentation de pratiquement 100% de la teneur en potassium (très hautement significative :  $\alpha < 0,001$ ), malgré la tendance à la baisse de rendement.

- l'augmentation de la teneur en azote (significatif à  $\alpha < 0,05$ ) est de 17,2 % et en phosphore (hautement significatif :  $\alpha < 0,01$ ) de 37,5 %.

L'évolution des teneurs en fonction du rendement et des doses de  $K_2SO_4$  est représentée sur la figure 4. Celle-ci met tout de suite en évidence un antagonisme marqué entre le potassium, le calcium et le potassium. Par contre, il semble y avoir synergie entre le potassium, l'azote et le phosphore. Il s'agit bien ici d'antagonisme et non pas d'un effet de dilution dû à la taille des pots de culture employés car la teneur en potassium augmente dans les tiges et feuilles, alors que le rendement reste statistiquement constant (voir paragraphe précédent).

Ces résultats sont résumés dans le tableau VI.

| Dose                          | Elément | Ca  | Mg | K | N   | P |
|-------------------------------|---------|-----|----|---|-----|---|
| Apport croissant de $K_2SO_4$ |         | (-) | -  | + | (+) | + |

(-) : diminution faible      - : diminution importante  
(+) : augmentation faible    + : augmentation importante.

Tableau VI - Action d'un apport croissant de  $K_2SO_4$  sur les teneurs des tiges et feuilles.

Le facteur fumure n'a pas d'effet significatif sur les exportations en azote et en phosphore. Ceci est dû à une augmentation relativement faible des teneurs, alors que parallèlement, le rendement a tendance à diminuer.

Sur les autres exportations (potassium, calcium et magnésium), leur évolution reflète celle des teneurs en ces trois éléments.

L'évolution des teneurs en calcium et en magnésium des tiges et feuilles entraînent une baisse significative ( $\alpha < 0,001$ ) du rapport  $\frac{Mg}{Ca}$ . Celle-ci reste toutefois relativement faible : 6,6% quand on passe de 0 kg/ha à 68 ou 204 kg/ha et 16,4% quand on passe de 0 kg/ha à 408 kg/ha de  $K_2SO_4$ .

#### IV - DISCUSSION.

##### 1) Croissance en hauteur et rendement.

L'apport de  $K_2SO_4$  n'a pas d'effet significatif sur la croissance en hauteur, ni sur le rendement. Cependant, concernant les hauteurs, les probabilités augmentent régulièrement alors que le coefficient de variation de la variance résiduelle reste constant. On peut donc penser que si l'expérience avait été continuée encore quelques jours, on aurait pu mettre en évidence un effet dépressif de la fumure potassique. En tout état de cause, cet effet aurait été relativement faible.

L'effet dépressif (non significatif) de la fumure potassique peut s'expliquer de plusieurs façons : (i) renforcement de la carence en calcium (voir plus loin), (ii) influence du type d'argile. En effet cet effet dépressif du potassium sur les rendements a souvent été noté dans les sols riches en argiles du type smectite (CARON et DIXON 1972). Cela est attribué à un coefficient de sélectivité très élevé (croissance exponentielle) des argiles vis-à-vis du potassium à des taux de saturation faible (ce qui est le cas ici car le taux de saturation du complexe d'échange par le potassium est de 0,57 %). Cette élévation du coefficient de sélectivité est due à la présence de minéraux micacés en position dioctahédrique, ainsi qu'à la présence de feuilletts de type "Vermiculite". Dans cette hypothèse, on se trouve dans la situation d'un sol pauvre en potassium et où une grande partie de la fumure potassique ajoutée devient inutilisable pour la plante. On devrait donc observer une teneur en potassium dans la plante assez constante en fonction des doses croissantes de potassium. Ce n'est pas le cas ici où l'augmentation de la teneur en potassium des tiges et feuilles est de 109%. Il faut donc envisager une autre hypothèse. En fait, il semble que dans ce sol, les réserves en potassium soient très facilement mobilisables



par la plante (BONZON, non publié). La fumure potassique n'agirait donc pas sur les rendements car le maïs en a toujours suffisamment à sa disposition quelquesoit le niveau apporté. Ceci entraîne une consommation de luxe que l'on observe effectivement en serre.

Dans cette hypothèse, il peut y avoir aussi fixation préférentielle du potassium sur les argiles de type smectite du sol, cette fixation n'empêchent pas le potassium d'être disponible pour la plante à cause de la grande disponibilité des réserves.

Cette hypothèse pourrait être vérifiée par des tests chimiques (EUF, résines...) ou agronomiques (épuisement...).

## 2) Signes de Carence.

Les signes de carence augmentent significativement avec la dose de  $K_2SO_4$  appliquée, et ceci dès la dose 68 kg/ha (en fin d'expérience). Parallèlement, on a mis en évidence une baisse très significative (bien que relativement faible) de la teneur en calcium des tiges et feuilles.

Les plants, à la récolte et quelquesoit les doses, peuvent être considérés comme très carencés (moyenne générale : 0,11% de calcium). Par comparaison, CHAPMAN (1982) donne un seuil critique d'environ 0,3% à 25 jours (en culture sous serre et sur sol sableux). A Bourail (CREA 1982), à 60 jours (période végétative comparable à 30 jours environ en serre), le taux de calcium chez le maïs (CV. XL 399) était de 0,4 %. (Le sol était un sol peu évolué d'apport). L'apport de 4t/ha de CaO (apporté à tous les pots en début d'expérience) est donc loin de contrebalancer le déséquilibre calco-magnésien de ce sol.

Le tableau VII résume les coefficients de corrélation résiduels trouvés entre le poids de matière sèche, les indices de carences et la teneur en calcium à la récolte.

|           | Indice de carence (jour de croissance). |            |            |             |             |             |              | Teneur en calcium |
|-----------|---|------------|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------------|
|           | 18                                      | 20         | 22         | 25          | 27          | 29          | 32           |                   |
| Rendement | -0,30<br>ns                             | -0,56<br>* | -0,58<br>* | -0,69<br>** | -0,74<br>** | -0,75<br>** | -0,77<br>*** | -0,19<br>ns       |

ns = non significatif - \* : significatif à  $\alpha < 0,05$

\*\* : significatif à  $\alpha < 0,01$

\*\*\* : significatif à  $\alpha < 0,001$

Tableau VII - Coefficients de corrélation entre le rendement, les indices de croissance et la teneur en calcium des plants.

On constate qu'il existe une relation négative significative entre le rendement et l'indice de carence dès le 20ème jour de croissance. Cette relation devient de plus en plus forte au cours du temps, ce qui est logique. Par contre, il n'existe pas de relation significative entre le rendement et la teneur en calcium des tiges et feuilles.

Il semble donc bien que le potassium ait aussi un effet dépressif sur le rendement. Cet effet dépressif a été noté par d'autres auteurs : CHAPMAN (1982) indique que l'accumulation d'une dose excessive de potassium échangeable peut entraîner l'apparition d'une carence en calcium défavorable pour le rendement pour des sols pauvres en calcium ; KAWASKI et MORITSUGU (1979) montre que le potassium renforce les symptômes de carence en calcium chez le maïs et le sorgho.

### 3) L'évolution des teneurs des tiges et feuilles en éléments majeurs : synergie et antagonisme.

L'évolution des teneurs des tiges et feuilles en éléments majeurs a mis en évidence :

- un antagonisme très net entre le potassium et le magnésium, un antagonisme net entre le potassium et le calcium.

- une synergie entre le potassium et l'azote d'une part, entre le potassium et le phosphore d'autre part.

Ces résultats sont conformes à ceux de nombreux auteurs ayant travaillé sur le maïs ou sur d'autres céréales (KHANNA et PARKASH, 1969 ; PATHAK et KALRA, 1971 ; TERMAN et al., 1975 ; SANCHEZ et DIOS, 1979).

En ce qui concerne le magnésium, le maïs, sur ce type de sol, l'absorbe en quantité très importante (teneur en 0,62%). CHAPMAN (1982) cite une teneur de 0,2 à 0,3 % pour les feuilles. A Bourail (CREA 1982), à 60 jours, l'hybride XL399 en contenait 0,5% dans les tiges et feuilles. Cette forte absorption est due à la prédominance quasi-absolue du magnésium sur le complexe d'échange. En outre, si l'on suppose que le maïs absorbe des éléments présents dans les "réserves" du sol ; les réserves en magnésium sont très importantes dans ce type de sol (> 10% de poids de terre).

#### V - CONCLUSION.

Cet essai en serre nous a permis de mettre en évidence l'influence de la fumure potassique (apportée sous forme de  $K_2SO_4$ ) sur le maïs cultivé sur vertisol hyper-magnésien.

Les conclusions sont les suivantes :

1) absence de réponse positive à la fertilisation potassique sur des paramètres comme le rendement et les hauteurs. Celle-ci a plutôt un effet dépressif ;

2) cet effet dépressif peut être en grande partie attribué à un renforcement de la carence en calcium dû à un antagonisme potassium-calcium. Cet antagonisme, bien que net, a un effet faible sur la carence en calcium ;

3) l'antagonisme potassium-magnésium est très net et a un effet important sur la teneur en magnésium du maïs. Celle-ci baisse de 40% quand on passe de 0kg/ha à 408kg/ha de  $K_2SO_4$ . La fumure potassique est donc un moyen efficace pour diminuer l'absorption du magnésium par la plante ;

4) La synergie entre le potassium, le phosphore et l'azote fait que ces deux dernières teneurs augmentent avec les doses de potassium. Par contre, du fait de l'effet dépressif sur le rendement, les immobilisations en azote et phosphore restent constantes ;

Il semble donc que le faible renforcement de la carence en calcium chez le maïs induite par la fumure potassique puisse expliquer les faits observés au champ tels qu'ils ont été décrits dans l'introduction.

BIBLIOGRAPHIE.

- ANDRE Ph. et BONZON B. (1986) : Comparaison de la sensibilité au déséquilibre Calco-magnésien de 6 hybrides doubles de maïs - ORSTOM, Nouméa.
- BEAUDOU A. et al (1983) : Etude Morpho-Pédologique de la région de la Tontouta - Carte à l'échelle du 1/50.000 - Convention ORSTOM/Services Ruraux - Nouvelle-Calédonie et dépendances.
- CARSON C.D., DIXON J.B. (1972) : Potassium selectivity on certain montmorillonite soils clays - Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 36, 838-843.
- CHAPMAN H.D. (1982) : Diagnostic criteria for plants and soils. 793 pages.
- CLAASSEN M.E., WILCOX G.E. (1974) : Comparative reduction of Calcium and magnesium composition of Corn tissue by  $\text{NH}_4\text{-N}$  and K fertilization - Agronomy Journal., 66, (4), 521-522.
- DAGNELIE P. (1979) : Théorie et Méthodes statistiques - Application agronomiques - Tomes I et II - Les Presses Agronomiques de Gembloux (Belgique)
- ECK P., DRAKE M., STECKEL J.E. (1957) : Calcium uptake by tomatoes as influenced by nature and per cent of Calcium saturation of Ca-H clay systems. Soil Sci., 84, 145-154.
- FLETCHER P., SPOSITO G., LEVESQUE C.S. (1984) : Sodium - Calcium - Magnesium exchange reaction on a montmorilloritic soil I - Binary exchange reactions. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 48, 1016-1021.
- FLETCHER P. et al (1984) : Sodium - Calcium - Magnesium exchange reactions on a montmorilloritic soil. II - Ternary exchange reactions, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 48, 1022-1025.
- KAWASKI T., MORITSUGU M. (1979) : a characteristic symptom of Calcium deficiency in Maize and sorghum - Comm. in Soil Sci. Pl. Anal., 10 (1/2), 41-56.
- KHANNA S.S., PARKASH A. (1969) : Effect of applied potash on the content of Ca and Mg in wheat plant - J. Ind. Soc. Soil Sci., 17, 483-486.
- KNIBBE W.G.J., THOMAS G.W. (1972) : Potassium - Calcium exchange coefficients in clay fractions of some vertisols - Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 36, 568-572.
- PATHAK A.N., KALRA Y.P. (1971) : Antagonism between Potassium, Calcium and Magnesium in several varieties of Hybrid Corn. Zeitch. für Pflanz. und Bod., 130, (2), 118-124.
- QUEMENER J. (1984) : Les états du potassium dans le sol et conséquences sur l'alimentation des plantes - C.R. Acad. Agric. de France, 70, (11), 1377-1392.
- SALMON R. (1964) : Cation-activity Ratios in equilibrium soil solutions and the availability of Magnesium - Soil Sci., 98, 213-221.
- SANCHEZ B., DIQS G. (1979) : Los Macranotrientes cationicos en el maíz (Zea Maos'L.). I - Varaciones de la composicion can el desarrollo An. Edafol. Agrobiol., vol XXXVIII, (5-6), 1039-1058.

SANCHEZ B., DIOS G. (1979) : Los Macronutrientes cationicos en el Maíz Zea Mays L.). II. Evolucion de la Acumulacion De K, Ca y Mg y de Sus relaciones durante el cultivo. An. Edafol. Agrobiol., Vol. XXXVIII, (5-6). 1059-1078.

SERVICE DE L'AGRICULTURE : Recherche Agronomique (1982) : Rapport d'activité - République Française - Nouvelle-Calédonie et Dépendances.

TABATABAI M.A., HANWAY J.J. (1969) : Potassium supply power of Iowa Soils at their "minimal" Levels of exchangeable Potassium., Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 33, 105-109.

A N N E X E .

Signification des sigles des différents paramètres mesurés.

- Hi = hauteur en i ème jour de croissance  
Vi-j = vitesse de croissance entre le i ème et j ème jour  
CCAk = k ème indice de carence  
PSTF = Poids sec de tige et feuille à la récolte  
ZTF = teneur en l'élément Z (= symbole chimique de l'élément)  
dans les tiges et feuilles  
QZTF = immobilisation en l'élément Z dans les tiges et feuilles.  
Mg/CaTF = rapport des teneurs en magnésium et en calcium des tiges  
et feuilles.



ANNEXE : RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE.

| PARAMETRES. |       |          |        |         |          |          |        | EFFET DU FACTEUR CONTROLE |             |
|-------------|-------|----------|--------|---------|----------|----------|--------|---------------------------|-------------|
| Sigle       | Unité | Moyennes |        |         |          |          | C.V. % | Valeur du F               | Probabilité |
|             |       | générale | 0kg/ha | 68kg/ha | 204kg/ha | 408kg/ha |        |                           |             |
| H12         | cm    | 10,5     | 10,6   | 10,3    | 10,5     | 10,7     | 5,7    | 0,57                      | 0,35        |
| H14         | cm    | 12,0     | 12,2   | 11,5    | 12,3     | 12,0     | 6,9    | 1,04                      | 0,60        |
| H18         | cm    | 16,3     | 16,7   | 16,4    | 16,1     | 15,9     | 5,7    | 0,88                      | 0,48        |
| H20         | cm    | 18,2     | 18,6   | 18,6    | 17,9     | 17,9     | 5,7    | 0,95                      | 0,44        |
| H22         | cm    | 20,7     | 21,3   | 21,0    | 20,4     | 20,3     | 6,7    | 0,79                      | 0,48        |
| H25         | cm    | 25,5     | 26,4   | 25,3    | 25,0     | 25,2     | 5,7    | 1,13                      | 0,63        |
| H27         | cm    | 29,3     | 30,0   | 28,7    | 28,6     | 29,8     | 5,6    | 1,23                      | 0,67        |
| H29         | cm    | 34,1     | 35,3   | 33,5    | 32,9     | 34,6     | 5,5    | 1,95                      | 0,84        |
| H32         | cm    | 42,1     | 43,8   | 41,3    | 40,5     | 42,8     | 5,3    | 2,73                      | 0,92        |
| V12-14      | cm/j  | 0,74     | 0,79   | 0,59    | 0,90     | 0,65     | 34,3   | 1,85                      | 0,82        |
| V14-18      | cm/j  | 1,07     | 1,13   | 1,23    | 0,97     | 0,96     | 14,2   | 4,43                      | 0,98        |
| V18-20      | cm/j  | 0,97     | 0,94   | 1,07    | 0,86     | 0,99     | 35,8   | 0,39                      | 0,23        |
| V20-22      | cm/j  | 1,26     | 1,38   | 1,22    | 1,25     | 1,22     | 20,3   | 0,52                      | 0,32        |
| V22-25      | cm/j  | 1,57     | 1,68   | 1,43    | 1,54     | 1,64     | 12,3   | 1,98                      | 0,84        |
| V25-27      | cm/j  | 1,90     | 1,81   | 1,70    | 1,80     | 2,27     | 22,1   | 2,24                      | 0,88        |
| V27-29      | cm/j  | 2,42     | 2,65   | 2,38    | 2,21     | 2,45     | 19,4   | 0,88                      | 0,47        |
| V29-32      | cm/j  | 2,67     | 2,84   | 2,60    | 2,51     | 2,73     | 10,2   | 1,70                      | 0,79        |
| CCA 1       | /     | 3,4      | 2,6    | 2,9     | 4,1      | 4,2      | 41,4   | 1,92                      | 0,83        |
| CCA 2       | /     | 9,1      | 8,3    | 8,0     | 10,7     | 9,6      | 29,0   | 1,28                      | 0,68        |

ANNEXE : RECAPITULATIF DES ANALYSES DE VARIANCE.

| PARAMETRES. |       |          |                   |                    |                   |                    |        | EFFET DU FACTEUR CONTROLE |             |
|-------------|-------|----------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------|---------------------------|-------------|
| Sigle       | Unité | Moyennes |                   |                    |                   |                    | C.V. % | Valeur du F               | Probabilité |
|             |       | générale | 0kg/ha            | 68kg/ha            | 204kg/ha          | 408kg/ha           |        |                           |             |
| CCA3        | /     | 15,0     | 14,3              | 13,8               | 16,3              | 15,8               | 15,3   | 1,60                      | 0,77        |
| CCA4        | /     | 19,1     | 17,1 <sup>a</sup> | 17,7 <sup>ab</sup> | 21,8 <sup>b</sup> | 19,9 <sup>ab</sup> | 14,4   | 3,66                      | 0,964       |
| CCA5        | /     | 23,2     | 20,3 <sup>a</sup> | 21,8 <sup>ab</sup> | 26,6 <sup>b</sup> | 24,3 <sup>ab</sup> | 14,1   | 4,37                      | 0,979       |
| CCA6        | /     | 27,4     | 22,3 <sup>a</sup> | 26,1 <sup>ab</sup> | 31,5 <sup>b</sup> | 29,6 <sup>b</sup>  | 13,8   | 6,89                      | 0,996       |
| CCA7        | /     | 32,4     | 25,9 <sup>a</sup> | 31,3 <sup>b</sup>  | 37,8 <sup>b</sup> | 35,2 <sup>b</sup>  | 12,8   | 8,70                      | 0,998       |
| PSTF        | g     | 22,2     | 25,1              | 21,8               | 20,0              | 21,8               | 15,7   | 2,25                      | 0,88        |
| KTF         | %     | 3,6      | 2,3 <sup>a</sup>  | 3,2 <sup>b</sup>   | 4,0 <sup>c</sup>  | 4,8 <sup>d</sup>   | 8,9    | 67,1                      | 1,000       |
| CaTF        | %     | 0,11     | 0,12 <sup>a</sup> | 0,12 <sup>a</sup>  | 0,10 <sup>b</sup> | 0,09 <sup>c</sup>  | 5,2    | 40,1                      | 1,000       |
| MgTF        | %     | 0,62     | 0,76 <sup>a</sup> | 0,66 <sup>b</sup>  | 0,58 <sup>c</sup> | 0,46 <sup>d</sup>  | 7,7    | 42,0                      | 1,000       |
| NTF         | %     | 3,2      | 2,9 <sup>a</sup>  | 3,2 <sup>ab</sup>  | 3,4 <sup>b</sup>  | 3,4 <sup>b</sup>   | 8,9    | 4,10                      | 0,97        |
| PTF         | %     | 0,30     | 0,24 <sup>a</sup> | 0,29 <sup>b</sup>  | 0,32 <sup>b</sup> | 0,33 <sup>b</sup>  | 12,2   | 6,55                      | 0,995       |
| QKTF        | mg    | 774      | 568 <sup>a</sup>  | 697 <sup>b</sup>   | 799 <sup>bc</sup> | 1033 <sup>c</sup>  | 14,2   | 19,16                     | 1,000       |
| QCaTF       | mg    | 24       | 31 <sup>a</sup>   | 26 <sup>b</sup>    | 21 <sup>bc</sup>  | 20 <sup>c</sup>    | 16,0   | 10,42                     | 0,999       |
| QMgTF       | mg    | 138      | 189 <sup>a</sup>  | 145 <sup>b</sup>   | 116 <sup>c</sup>  | 101 <sup>c</sup>   | 16,1   | 18,44                     | 1,000       |
| QNTF        | mg    | 705      | 717               | 696                | 669               | 737                | 9,2    | 1,19                      | 0,65        |
| QPTF        | mg    | 64       | 60                | 63                 | 63                | 70                 | 9,7    | 2,59                      | 0,91        |
| Mg/CaTF     | /     | 5,6      | 6,1 <sup>a</sup>  | 5,7 <sup>b</sup>   | 5,5 <sup>b</sup>  | 5,1 <sup>c</sup>   | 3,3    | 29,10                     | 1,000       |
|             |       |          |                   |                    |                   |                    |        |                           |             |
|             |       |          |                   |                    |                   |                    |        |                           |             |

Les moyennes suivies par une même lettre sont statistiquement identiques.