INSTITUT FRANCAIS
DU CAFE ET DU CACAO

CENTRE DE RECHERCHES
EN COTE D'IVOIRE

# UN ESSAI D'ENGRAIS SUR CACAOYERS

# EN COTE D'IVOIRE

## II. ETUDE DE LA NUTRITION MINERALE

G. VERLIERE
Maître de Recherches de l'ORSTOM
Chef de la Division d'Agronomie
du Centre de Recherches de l'IFCC
en Côte d'Ivoire

ORSTOM Fonds Documentaire
N° : 32.137 ex 1
Cote : B

INSTITUT FRANCAIS
DU CAFE ET DU CACAO

CHIMIE

# UN ESSAI D'ENGRAIS SUR CACAOYERS EN COTE-D'IVOIRE

## II. ETUDE DE LA NUTRITION MINERALE

Cette note complète celles qui avaient été présentées à la Conférence Internationale sur les Recherches Agronomiques Cacaoyères d'Abidjan en Novembre 1965 et qui avaient traité d'une part de l'amélioration des rendements par la fumure minérale et d'autre part des relations existant entre les rendements et les teneurs des feuilles en azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium.

Elle se rapporte à un essai d'engrais NPK $2^3$ qui avait été mis en place à Niabley dans une cacaoyère adulte, plantée vers 1940 sur sol granitique et assez fortement ombragée. La pluviométrie moyenne annuelle est de 1 400 mm.

Cet essai comportait trois répétitions disposées en blocs de Fisher et couvrant une superficie totale de 1,5 ha.

Les engrais étaient apportés à partir de 1956 en Avril et Septembre aux doses annuelles suivantes par arbre :

| | |
|---|---|
| Sulfate d'ammoniaque | 375 g |
| Phosphate bicalcique | 150 g |
| Sulfate de potasse | 200 g |

Le contrôle de la nutrition se faisait par la méthode du diagnostic foliaire. Les feuilles étaient récoltées théoriquement toutes les six semaines de 1961 à 1964 inclus ; en fait, trois prélèvements n'ont pu être effectués ce qui donne un total de 31 échantillons en 4 ans.

Les feuilles prélevées sont les 2ème et 3ème feuilles du premier flush devenu adulte en partant de l'extrémité apicale du rameau. De plus, leur pétiole doit être en cours de lignification et le rameau qui les porte doit avoir commencé à s'aoûter au niveau de leur insertion. On prélève 2 paires de feuilles par arbre sur une vingtaine d'arbres par parcelle.

.../.

Après séchage, élimination de la nervure centrale et broyage, l'on opère les dosages suivants :

- Azote par la méthode de Kjeldahl
- Phosphore par colorimétrie (méthode au vanando molybdate d'ammonium)
- Potassium, calcium et magnésium par photométrie de flamme.

Nous verrons dans une première partie comment évolue la nutrition en chacun des éléments dosés, puis nous rechercherons ensuite les liaisons et rapports pouvant exister entre les teneurs des différents éléments.

.../.

# A. ETUDE DES TENEURS EN ELEMENTS MINERAUX

## 1. Nutrition azotée

### 1.1-VARIATIONS SAISONNIERES -

Les variations des teneurs des feuilles en azote en fonction du temps sont représentées dans le graphique 2.

Nous examinerons d'abord les teneurs en azote des parcelles témoin (T) afin de voir comment elles évoluent lorsqu'elles ne sont pas influencées par les fumures. L'on note pour celles-ci :

- En 1961, un minimum en Mai et deux maximum, l'un en Février et l'autre en Novembre ;
- En 1962, deux minimum en Février et Octobre avec un maximum en Juin
- En 1963, un maximum en Mars suivi d'une diminution jusqu'en Juillet puis une stabilisation de Juillet à la fin de l'année ;
- En 1964, un maximum en Mars puis une courbe en dents de scie avec des pics en Juin et Octobre et des creux en Avril et Août.

Il y a donc de nombreuses différences suivant les années mais l'on peut noter que dans l'ensemble les teneurs maximum sont obtenues après la grande saison sèche, au moment de la reprise des pluies au mois de Mars. La période où les teneurs en azote passent par leur minimum sont beaucoup plus fluctuantes.

Il existe par contre une constance remarquable pour la valeur moyenne annuelle de la teneur en azote ; toujours pour les parcelles T, celle-ci est de :

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 2,357 | en | 1961 |
| | 2,397 | en | 1962 |
| | 2,333 | en | 1963 |
| et | 2,311 | en | 1964 |

La hauteur de pluie annuelle n'a donc pas d'interférence sur la nutrition azotée ; il est en effet tombé 1 302 mm de pluie en 1961 et 1988 mm en 1963, soit 50 % de plus, alors que la teneur moyenne en azote n'a varié que de 1 %.

.../.

## 1.2 - INFLUENCE DE LA FUMURE -

L'apport des différentes fumures n'a le plus souvent pour effet que de décaler les courbes parallèlement à l'axe des y, celles-ci conservant toutes la même allure. L'on peut cependant noter une tendance de la fumure K à avancer légèrement l'époque des minimum par rapport aux autres fumures.

Le tableau 1 montre que sur les 31 prélèvements effectués, 7 seulement ont montré des différences significatives dans les teneurs des feuilles en azote. Celles-ci se sont produites à des époques correspondant à des taux d'azote faibles.

Nous examinerons d'abord les résultats de l'étude statistique des résultats cumulés année par année, puis l'évolution de la nutrition azotée au cours des quatre années.

### 1.2.1 - 1961 -

Il y a huit prélèvements de feuilles en 1961.

L'analyse de la variance se présente ainsi :

| Origine de la variation | Degrés de liberté | Variance | F | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Calculé | Théorique | |
| | | | | 5 % | 1 % |
| Blocs | 16 | 41.599 | 3.4 ++ | 1.74 | 2.17 |
| Fumures | 7 | 52.290 | 4.3 ++ | 2.09 | 2.82 |
| Dates | 7 | 365.952 | 30.2 ++ | 2.09 | 2.82 |
| Fumure x Date | 49 | 6.962 | 0.6 | 1.47 | 1.71 |
| Erreur | 112 | 12.097 | | | |

Les taux d'azote dans les feuilles varient considérablement au cours de l'année, mais il n'y a pas d'interaction significative entre la fumure et le moment du prélèvement foliaire.

.../.

L'influence de la fumure apportée peut se résumer dans le tableau suivant :

| Fumure | N % M.S |
|---|---|
| NK | 2.361 |
| T | 2.357 |
| N | 2.351 |
| NP | 2.331 |
| P | 2.329 |
| NPK | 2.317 |
| PK | 2.244 |
| K | 2.234 |
| CV = 4,7 | |
| ppds : | |
| P = 0,05 : 0,064 | P = 0,01 : 0,082 |

Les fumures PK et K ont un effet dépressif sur les teneurs en azote qui sont alors inférieures à celles données par toutes les autres formules. Il faut noter qu'aucune fumure ne provoque une amélioration de la nutrition azotée par rapport au témoin.

1.2.2 - 1962 -

Sept prélèvements de feuilles ont été effectués en 1962. Pour l'ensemble des résultats, l'analyse de la variance donne les résultats suivants :

| Origine de la variation | Degrés de liberté | Variance | F | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Calculé | Théorique | |
| | | | | 5 % | 1 % |
| Blocs | 14 | 26.726 | 3.1 ++ | 1.79 | 2.16 |
| Fumures | 7 | 58.715 | 6.7 ++ | 2.10 | 2.82 |
| Dates | 6 | 48.342 | 5.5 ++ | 2.19 | 2.99 |
| Fumure x Date | 42 | 12.764 | 1.46 | 1.51 | 1.79 |
| Erreur | 98 | 8.684 | | | |

L'influence de la date de prélèvement est plus faible en 1962 qu'en 1961, et comme en 1961 il n'y a pas d'interaction significative entre la fumure et le moment où est pratiqué le diagnostic foliaire.

.../.

Les différentes fumures provoquent des différences significatives ainsi que l'indique le tableau suivant :

| Fumure | N % M.S |
|---|---|
| NP | 2.433 |
| N | 2.420 |
| NK | 2.397 |
| T | 2.397 |
| NPK | 2.359 |
| P | 2.351 |
| K | 2.316 |
| PK | 2.281 |
| CV = 3,9 | |
| ppds | |
| P = 0,05 : 0,058 | P = 0,01 : 0,074 |

Comme l'année précédente les fumures K et PK ont eu un effet dépressif sur les teneurs en azote alors qu'aucune formule n'a amélioré la nutrition azotée par rapport au témoin.

1.2.3 - 1963 -

Il a été effectué 9 prélèvements de feuilles en 1963

L'analyse de la variance se résume ainsi :

| Origine de la variation | Degrés de liberté | Variance | F | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Calculé | Théorique | |
| | | | | 5 % | 1 % |
| Blocs | 18 | 11.736 | 0,9 | 1.69 | 2.09 |
| Fumures | 7 | 72.174 | 5,6 ++ | 2.08 | 2.79 |
| Dates | 8 | 199.313 | 15,5 ++ | 2.01 | 2.65 |
| Fumure x Date | 56 | 10.468 | 0,8 | 1.44 | 1.66 |
| Erreur | 126 | 12.801 | | | |

L'influence du moment du prélèvement est plus importante en 1963 qu'en 1962, mais il n'y a toujours pas d'interaction significative entre la fumure et l'époque du diagnostic foliaire.

.../.

Les différences significatives dues aux différentes fumures se déduisent du tableau suivant :

| Fumure | N % M.S |
|---|---|
| N | 2.387 |
| NK | 2.380 |
| NP | 2.362 |
| NPK | 2.335 |
| T | 2.333 |
| P | 2.286 |
| PK | 2.263 |
| K | 2.249 |

CV = 4,8
ppds :
P = 0,05 : 0,061 P = 0,01 : 0,080

Les conclusions que l'on peut en tirer sont les mêmes que pour les années précédentes. Aucune fumure ne provoque une amélioration significative de la nutrition azotée, alors que les formules PK et K ont un effet dépressif.

1.2.4 - 1964 -

Le diagnostic foliaire a été effectué sept fois en 1964. L'analyse de la variance pour l'ensemble des résultats est indiquée dans le tableau suivant :

| Origine de la variation | Degrés de liberté | Variance | F | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Calculé | Théorique | |
| | | | | 5 % | 1 % |
| Blocs | 14 | 51.535 | 3,5 ++ | 1.79 | 2.16 |
| Fumures | 7 | 99.337 | 6,8 ++ | 2.10 | 2.82 |
| Dates | 6 | 168.609 | 11,6 ++ | 2.19 | 2.99 |
| Fumure x Date | 42 | 14.450 | 1 | 1.51 | 1.79 |
| Erreur | 98 | 14.524 | | | |

La date du prélèvement foliaire est encore très importante, mais son interaction avec la fumure n'est toujours pas significative.

.../.

Les différences significatives entre les différentes fumures sont plus importantes que les années précédentes ainsi que le montre le tableau suivant :

| Fumure | N % M.S |
|---|---|
| NK | 2.408 |
| N | 2.392 |
| NP | 2.345 |
| T | 2.311 |
| NPK | 2.269 |
| PK | 2.253 |
| K | 2.247 |
| P | 2.227 |
| CV = 5,2 | |
| ppds : | |
| P = 0,05 : 0,074 | P = 0,01 : 0,098 |

L'effet dépressif de K et PK n'est plus significatif bien que ces deux dernières fumures donnent encore des teneurs en azote inférieures à celle du témoin. Par contre, le phosphore provoque en 1964 un effet dépressif significatif.

Pour la première fois apparaît un effet bénéfique de la fumure sur la nutrition azotée : les formules NK et N déterminent des teneurs en azote significativement supérieures à celle du témoin.

Si l'on se rapporte au graphique 2, l'on peut noter qu'au cours du deuxième semestre 1964, il se forme trois groupes parmi les différentes fumures :

1) NK et N qui sont supérieures au témoin
2) NP - NPK et T
3) K - P et PK qui sont inférieures au témoin

1.2.5 - Période 1961 - 1964 -

Pour examiner l'évolution de la nutrition azotée, nous ne considérons plus les formules de fumure en elles-mêmes, mais nous rechercherons par l'analyse factorielle des résultats quels ont été les effets des apports de N, P et K et s'il existe des interactions significatives de premier et deuxième ordre entre ces trois facteurs.

.../.

Afin de pouvoir comparer les résultats d'une année à l'autre nous ne les exprimerons pas en valeur absolue mais en % de la valeur du témoin pour l'année considérée, ce qui donne le tableau suivant :

| | | 1961 | 1962 | 1963 | 1964 |
|---|---|---|---|---|---|
| Effet principal | N | + 20,8 | + 27,5 ++ | + 35,7 ++ | + 40,7 ++ |
| | P | - 8,8 | - 11,1 | - 11,1 | - 28,3 |
| | K | - 22,5 | - 25,9 + | - 15,1 | - 10,7 |
| Interaction 1er ordre | N x P | - 4,9 | + 5,9 | - 3,8 | - 11,6 |
| | N x K | + 21,6 | + 5,6 | + 7,8 | - 2,6 |
| | P x K | + 1,4 | - 3,0 | + 4,5 | 0 |
| Interaction 2ème ordre | N x P x K | - 6,5 | - 6,7 | - 8,7 | - 19,6 |
| Seuil de signification | 5 % | 27,1 | 23,0 | 28,5 | 33,7 |
| | 1 % | | 26,6 | 30,6 | 35,7 |

L'on peut donc constater :

1°) Une augmentation continue de l'effet principal N qui devient significatif à partir de 1962

2°) Une augmentation continue de l'effet principal P dont l'action dépressive est de plus en plus marquée et atteint presque le seuil de signification 5 % en 1964

3°) Une atténuation de l'action dépressive de l'effet principal K

4°) Aucune des interactions n'est significative ; cependant :

a/ L'interaction N x K qui était positive et presque significative en 1961 voit son effet aller constamment en diminuant et devient même négative en 1964

b/ L'interaction N x P x K a un effet négatif qui est de plus en plus marqué.

.../.

## 1.3 - CONCLUSIONS -

La nutrition azotée du cacaoyer dans cet essai est donc caractérisée par :

1°) La constance de la valeur moyenne de la teneur des feuilles en azote pour les quatre années considérées.

2°) Une teneur maximum d'azote dans les feuilles au début de la grande saison des pluies.

3°) L'augmentation de la teneur des feuilles en azote sous l'influence de la fumure azotée ; cette amélioration de la nutrition azotée est encore continue après 9 ans d'apport de la fumure.

4°) Une tendance de plus en plus marquée à un effet dépressif de la fumure phosphatée sur la teneur des feuilles en azote ; celle-ci est compensée par une diminution de l'effet dépressif de la fumure potassique.

5°) Il n'y a pas d'interaction significative au cours d'une année entre la fumure apportée et la date à laquelle le prélèvement foliaire est effectué.

.../.

## 2. Nutrition phosphorée

### 2.1 - VARIATIONS SAISONNIERES -

L'évolution de la teneur des feuilles en phosphore est indiquée dans le graphique 3. Si nous considérons d'abord la parcelle T qui n'a pas reçu de fumure, au cours des 4 années étudiées l'on peut noter :

1°) en 1961 : un maximum au début de l'année et un minimum en Mai

2°) en 1962 : des teneurs plus faibles en début d'année avec un minimum en Mai, puis une forte augmentation avec un maximum en Décembre

3°) en 1963, une diminution continue des teneurs en phosphore, rapide jusqu'en Avril, beaucoup plus lente ensuite, le minimum étant atteint en Novembre

4°) Enfin, en 1964, après un maximum en Mars, les teneurs en P diminuent rapidement jusqu'en Avril, puis légèrement jusqu'en Août et remontent ensuite.

En général, les teneurs en P passent donc par un minimum en Mai, en pleine saison des pluies. La date du maximum est plus fluctuante, mais se situe pendant la saison sèche entre Décembre et Mars.

Alors que l'écart le plus fort entre les moyennes de deux années pour les teneurs en azote n'était que de 3,7 % de la moyenne, pour les teneurs en phosphore il atteint 12,4 %.

Les variations des taux d'une année à l'autre sont donc beaucoup plus importantes pour le phosphore que pour l'azote. Pour les parcelles T, les teneurs moyennes en P sont de :

0,117 en 1961
0,110 en 1962
0,118 en 1963
et 0,105 en 1964

De même , au cours de l'année les variations des taux sont proportionnellement beaucoup plus importantes pour P que pour N. Ainsi pour N les valeurs extrêmes enregistrées au cours des 4 ans ont été de :

2.147 le 18 Mai 1961
et 2.557 le 20 Novembre 1961

soit une différence de 0,410 représentant 17 % de la moyenne alors que pour P nous avons respectivement :

.../.

0,096 le 31 Août 1964
et 0,139 le 3 Décembre 1962

avec une différence de 0,043 correspondant à 36 % de la moyenne.

## 2.2 - INFLUENCE DE LA FUMURE -

Les différentes fumures ne se bornent pas à décaler les courbes d'absorption parallèlement à l'axe des y. L'on peut noter en effet :

- que la fumure P a pour effet de stabiliser la période des teneurs maximum qui se situent alors en Janvier,

- que la fumure PK provoque une augmentation rapide des teneurs en P après le deuxième épandage qui a lieu en Septembre ; l'effet de la fumure P semble au contraire avoir un effet plus marqué après le premier épandage de Mai-Juin.

L'on peut voir dans le tableau 1 que sur les 31 prélèvements effectués, 11 ont montré des différences significatives dans les teneurs en phosphore. Il s'agit pour la plupart des prélèvements effectués entre les mois de Juin et de Novembre, ce qui correspond aux périodes de basses teneurs en P. Nous retrouvons ici les mêmes résultats que ceux que nous avions constatés pour l'azote.

### 2.2.1 - 1961 -

L'analyse de la variance donne les résultats suivants :

| Origine de la variance | Degrés de liberté | Variance | F Calculé | F Théorique 5 % | F Théorique 1 % |
|---|---|---|---|---|---|
| Blocs | 16 | 421 | 2,9 ++ | 1,74 | 2,17 |
| Fumures | 7 | 607 | 4,3 ++ | 2,09 | 2,82 |
| Dates | 7 | 2 179 | 15,4 ++ | 2,09 | 2,82 |
| Fumure x Date | 49 | 73 | 0,5 | 1,47 | 1,71 |
| Erreur | 112 | 141 | | | |

La date du prélèvement foliaire intervient sur la valeur absolue des teneurs en P, mais il n'y a pas d'interaction significative entre la fumure et la date du prélèvement.

.../.

Les différentes fumures donnent des différences hautement significatives ainsi que le montre le tableau suivant :

| Fumure | P % M.S |
|---|---|
| P | 0,1283 |
| NPK | 0,1259 |
| PK | 0,1231 |
| NP | 0,1183 |
| T | 0,1174 |
| NK | 0,1167 |
| N | 0,1154 |
| K | 0,1138 |
| CV = 9,9 | |
| ppds : | |
| P = 0,05 : 0,0069 | P = 0,01 : 0,0088 |

Les formules P et NPK provoquent une amélioration de la nutrition phosphorée par rapport au témoin. Aucune fumure n'a d'effet dépressif significatif en 1961.

2.2.2. 1962 -

L'analyse de la variance se présente ainsi :

| Origine de la variance | Degrés de liberté | Variance | F | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Calculé | Théorique | |
| | | | | 5 % | 1 % |
| Blocs | 14 | 377 | 4,1 ++ | 1.79 | 2.16 |
| Fumures | 7 | 1 036 | 11,4 ++ | 2.10 | 2.82 |
| Dates | 6 | 1 956 | 21,5 ++ | 2.19 | 2.99 |
| Fumure x Date | 42 | 132 | 1,4 | 1.51 | 1.79 |
| Erreur | 98 | 90,8 | | | |

Les variations des taux de P suivant l'époque sont plus importantes que l'année précédente. L'interaction fumure x date approche du seuil de signification 5 %. L'on peut d'ailleurs voir sur le graphique 3 que la fumure P donne de loin les plus fortes teneurs en phosphore, sauf au mois de Décembre où elle est inférieure au témoin ; également en Décembre la formule K se classe à égalité avec la formule P alors qu'elle ne donnait que de très faibles teneurs en P le restant de l'année.

.../.

Il existe des différences significatives suivant les diverses fumures :

| Fumure | P % M.S |
|---|---|
| P | 0,1276 |
| NPK | 0,1275 |
| PK | 0,1139 |
| NK | 0,1119 |
| NP | 0,1118 |
| T | 0,1106 |
| N | 0,1105 |
| K | 0,1064 |

CV = 8,3
ppds :
P = 0,05 : 0,0059 P = 0,01 : 0,0075

Les formules P et NPK déterminent des teneurs en phosphore supérieures à celles de toutes les autres parcelles.

2.2.3 - 1963 -

L'analyse de la variance se résume comme suit :

| Origine de la variation | Degrés de liberté | Variance | F | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Calculé | Théorique | |
| | | | | 5 % | 1 % |
| Blocs | 18 | 184 | 1,9 + | 1.69 | 2.09 |
| Fumures | 7 | 1 563 | 16,4 ++ | 2.08 | 2.79 |
| Dates | 8 | 1 007 | 10,5 ++ | 2.01 | 2.65 |
| Fumure x Date | 56 | 797 | 0,84 | 1.44 | 1.66 |
| Erreur | 126 | 953 | | | |

Les variations des teneurs en P sont moins marquées au cours de l'année 1963 qu'en 1962 ; l'interaction fumure x date est également beaucoup plus faible.

.../.

Les différentes fumures déterminent toujours des différences significatives dans les taux de P.

| Fumure | P % M.S |
|---|---|
| P | 0,1378 |
| NPK | 0,1306 |
| PK | 0,1267 |
| NP | 0,1266 |
| NK | 0,1189 |
| T | 0,1178 |
| K | 0,1174 |
| N | 0,1171 |

CV = 7,8
ppds :
P = 0,05 : 0,0052 P = 0,01 : 0,0069

La nutrition phosphorée est significativement améliorée pour toutes les parcelles ayant reçu du phosphate bicalcique. De plus le taux de P des parcelles n'ayant reçu que du phosphate est supérieur à celui de toutes les autres parcelles.

2.2.4 - 1964 -

Les résultats de l'analyse de la variance sont les suivants :

| Origine de la variation | Degrés de liberté | Variance | F | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Calculé | Théorique 5 % | Théorique 1 % |
| Blocs | 14 | 158 | 3,7 ++ | 1,79 | 2,16 |
| Fumures | 7 | 457 | 10,7 ++ | 2,10 | 2,82 |
| Dates | 6 | 4 207 | 98,5 ++ | 2,19 | 2,99 |
| Fumure x Date | 42 | 39,6 | 0,9 | 1,51 | 1,79 |
| Erreur | 98 | 42,7 | | | |

L'influence de la date du prélèvement est ici considérable : les teneurs en P sont élevées au début de l'année puis diminuent brusquement en Avril ; mais comme les autres années l'interaction fumure x date n'est toujours pas significative.

.../.

L'action des différentes fumures donne toujours des différences significatives dans les **teneurs en P :**

| Fumure | P % M.S |
|---|---|
| P | 0,1145 |
| PK | 0,1127 |
| NP | 0,1108 |
| NPK | 0,1090 |
| T | 0,1050 |
| N | 0,1034 |
| K | 0,1030 |
| NK | 0,1029 |

CV = 6,0
ppds :
P = 0,05 : 0,0039 P = 0,01 : 0,0052

Toutes les formules renfermant du phosphate augmentent signicativement les teneurs en phosphore et c'est comme les années précédentes la fumure P qui est toujours en tête.

2.2.5 - Période 1961-1964 -

En procédant comme nous l'avons fait pour l'azote, nous obtenons le tableau suivant qui donne les effet principaux et les interactions (toujours exprimés en %o du témoin) pour les quatre années étudiées.

| | 1961 | 1962 | 1963 | 1964 |
|---|---|---|---|---|
| Effet principal N | - 12.8 | - 6.3 | - 13.6 | - 21.9 |
| P | + 68.2 ++ | + 80.5 ++ | + 106.9 ++ | + 77.1 ++ |
| K | + 0.8 | - 14.5 | - 11.9 | - 14.3 |
| Interaction de 1er ordre N x P | - 16.2 | - 30.7 | - 17.0 | - 13.3 |
| N x K | + 37.5 | + 66.0 | + 36.5 | + 3.8 |
| P x K | + 9.3 | - 2.7 | - 17.8 | - 2.9 |
| Interaction 2e ordre N x P x K | + 17.0 | + 40.7 | + 28.0 | - 3.8 |
| Seuil signification 5 % | 58.8 | 50.6 | 48.4 | 36.2 |
| 1 % | 67.3 | 58.8 | 56.0 | 51.4 |

.../.

Le seul effet significatif est donc l'apport de phosphate qui augmente le taux de phosphore d'environ 8 %. L'on peut noter également une tendance à l'effet dépressif de l'azote qui va en augmentant, mais celui-ci est encore loin d'être significatif.

2.3 - CONCLUSIONS -

Il ressort des résultats précédents que :

1°) Les teneurs en phosphore varient relativement beaucoup plus que les teneurs en azote.

2°) Les taux de phosphore dans les feuilles passent par un minimum en Mai.

3°) Toutes les parcelles ayant reçu du phosphate bicalcique, seul ou associé aux autres engrais, ont des teneurs en phosphore supérieures à celles du témoin.

4°) Une tendance à l'effet dépressif des fumures azotées sur le taux de phosphore.

.../.

## 3. Nutrition potassique

### 3.1 - VARIATIONS SAISONNIERES -

Les variations des teneurs des feuilles en potasse en fonction du temps sont représentées par le graphique 4. En ce qui concerne les parcelles T où la nutrition potassique n'a pas été modifiée par les apports d'engrais, l'on peut noter :

1°) en 1961, un maximum en Février avec deux autres pics moins importants en Août et Novembre. Le minimum est atteint en Juin et Octobre ;

2°) en 1962, un maximum en Février et un minimum en Juin avec une remontée rapide de la courbe en Novembre ;

3°) en 1963, un maximum en Mars puis un autre beaucoup moins important en Août ; le minimum est atteint en Octobre et Juillet ;

4°) en 1964, le maximum a lieu en Mars et le minimum en Juillet.

Au contraire de ce qui se passait pour l'azote et le phosphore, c'est ici la période des maximum qui semble la mieux délimitée, à savoir en Février-Mars, c'est à dire en fin de saison sèche. Le minimum se place à la fin de la saison des pluies en Juin-Juillet.

Les variations des taux de K sont considérables ; ainsi le maximum pour les parcelles T a été de 2,66 le 15 Février 1961 et le minimum de 1,12 le 7 Octobre 1963. Il en résulte une différence de 1,54 qui correspond à 81 % de la moyenne.

Les teneurs moyennes annuelles varient également d'une année à l'autre :

2,08 % en 1961
1,82 % en 1962
1,57 % en 1963
et 1,47 % en 1964

Il faut noter que la baisse des taux de K est continue ; les cacaoyers n'ont donc pas la possibilité d'absorber suffisamment de potassium pour compenser à la fois et les exportations par les récoltes et ce qui est fixé par l'arbre.

.../.

## 3.2 - INFLUENCE DE LA FUMURE -

L'apport de fumure minérale ne modifie pas sensiblement la forme des courbes d'absorption de K. Cependant, l'on ne retrouve pas la remontée des teneursen K que l'on avait observée en Novembre pour les parcelles T ; au contraire, c'est en Novembre que l'on atteint en 1962 et 1963 les plus faibles teneurs en K pour les parcelles P. Peut-être faut-il voir là l'effet de l'antagonisme K-Ca qui se manifesterait d'avantage après le deuxième épandage d'engrais alors que les pluies sont moins abondantes qu'en Mai et Juin après le premier épandage.

Le tableau 1 montre que sur les 31 diagnostics foliaires effectués, un seul a montré des différences significatives pour les teneurs en K. De tous les éléments dosés, c'est le potassium qui a donné le moins de résultats significatifs.

### 3.2.1 - 1961 -

L'analyse de la variance est donnée dans le tableau suivant :

| Origine de la variation | Degrés de liberté | Variance | F | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Calculé | Théorique | |
| | | | | 5 % | 1 % |
| Blocs | 16 | 5.461 | 5.9 ++ | 1.74 | 2.17 |
| Fumures | 7 | 4.664 | 5.1 ++ | 2.09 | 2.82 |
| Dates | 7 | 21.159 | 23.1 ++ | 2.09 | 2.82 |
| Fumure x Date | 49 | 521 | 0,57 | 1,47 | 1.71 |
| Erreur | 112 | 915 | | | |

La date du prélèvement a une grande importance sur la valeur absolue mais l'interaction fumure x date n'est pas significative. Les différentes fumures provoquent des différences significatives dans les teneurs en K :

.../.

| Fumure | K % M.S |
|---|---|
| K | 2.180 |
| T | 2.080 |
| NK | 2.028 |
| N | 1.968 |
| P | 1.946 |
| PK | 1.931 |
| NPK | 1.835 |
| NP | 1.732 |
| CV = 15.4 | |
| ppds : | |
| P = 0,05 : 0,175 | P = 0,01 : 0,225 |

Aucune formule d'engrais n'a amélioré significativement la nutrition potassique par rapport au témoin. Par contre, les fumures NP et NPK ont eu un effet dépressif. Ce sont toutes les parcelles qui ont reçu du phosphate bicalcique qui ont les plus faibles teneurs en K.

3.2.2 - 1962 -

L'analyse de la variance peut se résumer ainsi :

| Origine de la variation | Degrés de liberté | Variance | F | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Calculé | Théorique | |
| | | | | 5 % | 1 % |
| Blocs | 14 | 5.203 | 5.1 ++ | 1.79 | 2.16 |
| Fumures | 7 | 4.051 | 4.0 ++ | 2.10 | 2.82 |
| Dates | 6 | 16.921 | 16.6 ++ | 2.19 | 2.99 |
| Fumure x Date | 42 | 382 | 0.37 | 1.51 | 1.79 |
| Erreur | 98 | 1.017 | | | |

Nous retrouvons comme l'année précédente une forte influence de la date de prélèvement, une interaction fumure x date non significative et des différences significatives entre les diverses fumures.

.../.

| Fumure | K % M.S |
|---|---|
| NK | 1.970 |
| K | 1.953 |
| T | 1.817 |
| NPK | 1.797 |
| N | 1.789 |
| P | 1.789 |
| PK | 1.685 |
| NP | 1.605 |

CV = 17.7
ppds :
P = 0,05 : 0,197 P = 0,01 : 0,253

La formule NP donne toujours un effet dépressif par rapport au témoin et il n'y a toujours pas de fumure provoquant une amélioration significative de la nutrition potassique.

3.2.3 - 1963 -

Le tableau suivant donne l'analyse de la variance :

| Origine de la variation | Degrés de liberté | Variance | F | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Calculé | Théorique | |
| | | | | 5 % | 1 % |
| Blocs | 18 | 1.956 | 5.0 ++ | 1.69 | 2.09 |
| Fumures | 7 | 3.206 | 8.2 ++ | 2.08 | 2.79 |
| Dates | 8 | 30.338 | 77.7 ++ | 2.01 | 2.65 |
| Fumure x Date | 56 | 331 | 0.85 | 1.44 | 1.66 |
| Erreur | 126 | 390 | | | |

Les conclusions que l'on peut en tirer sont les mêmes que celles de l'année précédente, avec toutefois une influence encore plus marquée de la date du prélèvement.

.../.

Les différences des teneurs en K causées par les fumures sont les suivantes :

| Fumure | K % M.S |
|---|---|
| K | 1.683 |
| NK | 1.609 |
| NPK | 1.566 |
| T | 1.565 |
| N | 1.534 |
| PK | 1.453 |
| P | 1.399 |
| NP | 1.364 |

CV = 13.0
ppds :
P + 5 % : 0,106 P = 1 % : 0,141

L'on note pour la première fois une amélioration de la nutrition potassique sous l'influence de la fumure ; les parcelles K ont des teneurs en K significativement plus élevées que celles du témoin.

L'effet dépressif des fumures phosphatées est également accentué : les teneurs en K des parcelles PK, P et NP sont significativement inférieures à celle du témoin.

3.2.4 - 1964 -

L'analyse de la variance se présente ainsi :

| Origine de la variation | Degrés de liberté | Variance | F | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Calculé | Théorique | |
| | | | | 5 % | 1 % |
| Blocs | 14 | 2.242 | 3.8 ++ | 1.79 | 2.16 |
| Fumures | 7 | 3.027 | 5.1 ++ | 2.10 | 2.82 |
| Dates | 6 | 22.429 | 37.9 ++ | 2.19 | 2.99 |
| Fumure x Date | 42 | 239 | 0.40 | 1.51 | 1.79 |
| Erreur | 98 | 591 | | | |

.../.

L'on aboutit aux mêes résultats que les années précédentes. Les teneurs en K déterminées par les différentes fumures sont les suivantes :

| Fumure | K % M.S |
|---|---|
| K | 1.574 |
| PK | 1.482 |
| T | 1.469 |
| N | 1.464 |
| NK | 1.457 |
| NPK | 1.366 |
| P | 1.290 |
| NP | 1.201 |
| CV = 17.1 | |
| ppds | |
| P = 0,05 : 0,148 | P = 0,01 : 0,197 |

Les teneurs en K des parcelles K sont toujours supérieures à celles du témoin mais la différence n'est plus significative. Par contre, les parcelles P et NP ont toujours un effet dépressif. Il faut noter cette année l'amélioration de la nutrition potassique dans les parcelles PK dont la teneur en K qui était significativement inférieure à celle du témoin en 1963 lui est maintenant égale.

3.2.5 - Période 1961-1964 -

En séparant leseffet principaux des interactions, nous obtenons les résultats suivants, toujours exprimés en ‰ du témoin.

| | 1961 | 1962 | 1963 | 1964 |
|---|---|---|---|---|
| Effet principal | | | | |
| N | - 69.3 | - 11.6 | - 4.4 | - 55.8 |
| P | - 97.6 ++ | - 89.6 | - 97.1 ++ | - 106.2 + |
| K | + 29.8 | + 55.6 | + 71.6 | + 77.6 |
| Interaction 1er ordre N x P | - 5.8 | - 8.2 | + 29.4 | - 14.3 |
| N x K | + 9,6 | + 46.7 | + 17.2 | - 23.8 |
| P x K | - 8.7 | - 31.3 | + 10.2 | + 44.2 |
| Interaction 2ème ordre N x P x K | + 19.2 | + 34.6 | + 30.0 | + 15.0 |
| Seuil signification 5 % | 84.6 | 104.0 | 74.2 | 98.0 |
| 1 % | 97.1 | 119.9 | 86.3 | 113.0 |

.../.

Le seul effet significatif est donc l'apport de phosphate bicalcique qui diminue la teneur en K d'environ 10 %.

Il faut noter aussi l'augmentation continue de l'effet du sulfate de potasse qui se rapproche du seuil de signification en 1963 et 1964. L'on peut vraisemblablement penser que cet effet serait devenu significatif si la durée de l'essai avait été prolongée de quelques années.

Aucune des interactions n'a de valeur significative.

## 3.3 - CONCLUSIONS -

Les principales caractéristiques de la nutrition potassique sont donc les suivantes :

1°) Les variations des teneurs des feuilles en K sont très fortes en fonction du temps.

2°) Les taux de potassium dans les feuilles passent par leur maximum en fin de grande saison sèche (Février-Mars) et par leur minimum en fin de grande saison des pluies (Juin-Juillet).

3°) L'apport de phosphate bicalcique a fait baisser significativement les teneurs en K.

4°) L'apport de sulfate de potasse s'est traduit par une augmentation de la teneur en K par rapport au témoin ; mais pour que celle-ci ait été significative il aurait sans doute fallu apporter des doses plus fortes ou prolonger l'essai plus longtemps.

.../.

## 4. Nutrition calcique

### 4.1 - VARIATIONS SAISONNIERES -

Les variations des teneurs des feuilles en calcium en fonction du temps sont indiquées par le graphique 5.

L'examen des courbes des parcelles T montre :

1°) En 1961, un maximum en Avril et un autre moins important en Novembre ; il y a également 2 minimum, l'un en Février et l'autre en Juin.

2°) En 1962, les variations sont très faibles et les plus fortes teneurs ont lieu en Mars.

3°) En 1963, la courbe est très régulière : les teneurs baissent pendant le premier semestre et augmentent ensuite pendant le deuxième.

4°) En 1964, les teneurs en Ca diminuent au début de l'année pour attendre leur minimum en Avril. Le maximum a lieu en Juillet puis l'on trouve une nouvelle baisse jusqu'en Octobre.

Les variations des teneurs en Ca sont donc beaucoup plus irrégulières que celles concernant N, P et K.

La plus forte teneur a été enregistrée en Avril 1961 avec 1,35 % ; la plus faible a lieu en Mai 1963 avec 0,40 %. La variation est ici très forte (0,95 %) et représente 108 % de la moyenne.

Les teneurs moyennes annuelles varient également d'une façon très importante ; elles sont de :

0,79 % en 1962
0,58 % en 1963
0,68 % en 1964

Comme pour le potassium, l'on note une baisse des teneurs en Ca durant les trois premières années ; mais alors que celle-ci s'était poursuivie en 1964 pour le potassium, l'on assiste alors au contraire à une légère remontée pour le calcium.

.../.

## 4.2 - INFLUENCE DE LA FUMURE -

Les différentes fumures n'ont pas modifié la forme générale de la courbe des teneurs en Ca telle que nous l'avions trouvée pour les parcelles témoins. Les différences significatives sont peu nombreuses si l'on considère chaque prélèvement pris isolément : 4 seulement pour les 31 prélèvements analysés. Au contraire, en groupant les résultats, année par année, l'on constate alors un effet très net de l'apport du phosphate bicalcique sur la teneur des feuilles en Ca.

### 4.2.1 - 1961 -

L'analyse de la variance donne les résultats suivants :

| Origine de la variation | Degrés de liberté | Variance | F Calculé | F Théorique 5 % | F Théorique 1 % |
|---|---|---|---|---|---|
| Blocs | 16 | 1 570 | 3.4 ++ | 1.74 | 2.17 |
| Fumures | 7 | 992 | 4.1 ++ | 2.09 | 2.82 |
| Dates | 7 | 10 579 | 44.0 ++ | 2.09 | 2.82 |
| Fumure x Date | 49 | 306 | 1.2 | 1.47 | 1.71 |
| Erreur | 112 | 240 | | | |

L'influence de la date de prélèvement est donc très marquée en 1961. Mais il n'y a pas d'interaction significative entre la fumure et l'époque du prélèvement.

Les différences significatives dues aux fumures se déduisent du tableau suivant :

| Fumure | Ca % M.S |
|---|---|
| NP | 1,116 |
| P | 1,107 |
| NPK | 1,105 |
| PK | 1,102 |
| NK | 1,046 |
| N | 0,978 |
| K | 0,977 |
| T | 0,973 |

CV = 14.7

ppds :

P = 0,05 : 0,090 P = 0,01 : 0,115

Toutes les fumures ayant apporté du phosphate bicalcique ont donc augmenté les teneurs des feuilles en Ca par rapport au témoin.

4.2.2 - 1962 -

L'analyse de la variance est donnée dans le tableau suivant :

| Origine de la variation | Degrés de liberté | Variance | F Calculé | F Théorique 5 % | F Théorique 1 % |
|---|---|---|---|---|---|
| Blocs | 14 | 650 | 2.3 ++ | 1.79 | 2.16 |
| Fumures | 7 | 1 515 | 5.5 ++ | 2.10 | 2.82 |
| Dates | 6 | 1 286 | 4.7 ++ | 2.19 | 2.99 |
| Fumure x Date | 42 | 229 | 0.8 | 1.51 | 1.79 |
| Erreur | 98 | 272.5 | | | |

Le moment du prélèvement foliaire a moins d'importance en 1962 qu'en 1961 ; l'on peut d'ailleurs constaté sur le graphique 5 que les teneurs en Ca ont beaucoup moins varié en 1962 qu'en 1961.

Les fumures provoquent toujours des différences significatives ainsi que le montre le tableau suivant :

| Fumure | Ca % M.S |
|---|---|
| NPK | 0,986 |
| NP | 0,937 |
| PK | 0,913 |
| P | 0,889 |
| NK | 0,837 |
| T | 0,790 |
| N | 0,775 |
| K | 0,744 |

CV = 19,2
ppds :
P = 0,05 : 0,102 P = 0,01 : 0,131

Les parcelles ayant reçu du phosphate bicalcique sont toujours celles qui ont les plus fortes teneurs en Ca. Mais, à l'inverse de l'année précédente, les teneurs des parcelles P ne sont plus significativement supérieures à celles du témoin.

.../.

4.2.3 - 1963 -

L'analyse de la variance se présente comme suit :

| Origine de la variation | Degrés de liberté | Variance | F Calculé | F Théorique 5 % | F Théorique 1 % |
|---|---|---|---|---|---|
| Blocs | 18 | 268 | 2.3 ++ | 1.69 | 2.09 |
| Fumures | 7 | 582 | 5.0 ++ | 2.08 | 2.79 |
| Dates | 8 | 2 841 | 24.8 ++ | 2.01 | 2.65 |
| Fumure x Date | 56 | 86.3 | 0.7 | 1.44 | 1.66 |
| Erreur | 126 | 114.5 | | | |

L'importance de l'époque du prélèvement est plus grande en 1963 qu'en 1962 ; l'interaction fumure x date n'est toujours pas significative alors que les différentes fumures déterminent des différences significatives dans les teneurs en Ca, ainsi que l'on peut le constater dans le tableau suivant :

| Fumure | Ca % M.S |
|---|---|
| NPK | 0,673 |
| PK | 0,669 |
| P | 0,637 |
| NP | 0,633 |
| NK | 0,596 |
| T | 0,577 |
| K | 0,566 |
| N | 0,554 |

CV = 17,4
ppds :
P = 0,05 : 0,057 P = 0,01 : 0,076

Comme les années précédentes, ce sont les parcelles qui ont reçu du phosphate bicalcique qui ont les plus fortes teneurs en Ca.

.../.

4.2.4 - 1964 -

Les résultats de l'analyse de la variance sont les suivants :

| Origine de la variation | Degrés de liberté | Variance | F Calculé | F Théorique 5 % | F Théorique 1 % |
|---|---|---|---|---|---|
| Blocs | 14 | 482 | 5.1 ++ | 1.79 | 2.16 |
| Fumures | 7 | 685 | 7.3 ++ | 2.10 | 2.82 |
| Dates | 6 | 3 215 | 34.0 ++ | 2.19 | 2.99 |
| Fumure x Date | 42 | 30 | 0.3 | 1.51 | 1.79 |
| Erreur | 98 | 94.4 | | | |

Les dates de prélèvement et les différentes fumures provoquent comme les années précédentes des différences significatives dans les teneurs en Ca. L'influence des fumures est résumée dans le tableau suivant :

| Fumure | Ca % M.S |
|---|---|
| NPK | 0,814 |
| P | 0,743 |
| NP | 0,741 |
| PK | 0,736 |
| NK | 0,731 |
| T | 0,684 |
| K | 0,652 |
| N | 0,629 |
| CV = 13.5 | |
| ppds : | |
| P = 0,05 : 0,059 | P = 0,01 : 0,079 |

Toutes les parcelles ayant reçu du phosphate bicalcique montrent des teneurs en Ca supérieures à celle du témoin ; mais, de plus, les teneurs des parcelles NPK sont maintenant significativement supérieures à celles de toutes les autres parcelles. Inversement, l'apport d'azote seul a tendance à avoir un effet dépressif sur le taux de Ca.

.../.

4.2.5 - Période 1961-1964 -

Le tableau suivant donne les valeurs des effets principaux et des interactions exprimées en %₀ du témoin pour les quatre années considérées :

| | 1961 | 1962 | 1963 | 1964 |
|---|---|---|---|---|
| Effet principal | | | | |
| N | + 21.6 | + 63.3 | + 1.7 | + 36.5 |
| P | + 117.2 ++ | + 180.9 ++ | + 138.4 ++ | + 122.8 ++ |
| K | + 14.4 | + 29.1 | + 43.3 | + 48.2 |
| Interaction 1er ordre N x P | - 15.4 | + 13.9 | - 3.4 | + 19.0 |
| N x K | + 14.4 | + 41.7 | + 25.9 | + 77.5 |
| P x K | - 22.6 | + 20.2 | + 17.3 | - 1.5 |
| Interaction 2e ordre N x P x K | - 17.4 | - 26.5 | - 19.0 | - 19.0 |
| Seuil signification 5 % | 92.5 | 122.7 | 105.5 | 83.3 |
| 1 % | 105.9 | 142.9 | 121.1 | 96.5 |

Nous retrouvons encore que seul l'apport de phosphate bicalcique a un effet significatif en augmentant les teneurs de Ca d'environ 13 % par rapport au témoin ; sans être significatif, l'effet principal K va cependant en augmentant régulièrement.

Aucune des interactions n'est significative, cependant la valeur de l'interaction N x K est positive et se rapproche de plus en plus du seuil de signification.

4.3 - CONCLUSIONS -

La nutrition calcique est donc caractérisée par :

1°) Des variations au cours de l'année beaucoup plus irrégulières que celles que l'on avait constatées pour N, P et K ne permettant pas de fixer avec précision la période des maximum et des minimum.

2°) Des variations très fortes des teneurs moyennes annuelles.

3°) Une augmentation des taux de Ca dans les feuilles lorsque l'on apporte du phosphate bicalcique.

.../.

## 5. Nutrition magnésienne

### 5.1 - VARIATIONS SAISONNIERES -

L'évolution du taux de Mg dans les feuilles est indiquée dans le graphique 6. L'on peut noter pour les parcelles témoin où la nutrition magnésienne n'a pas été perturbée par les apports d'engrais :

1°) En 1961, un minimum en Février et un maximum en Novembre.

2°) En 1962, le minimum se produit en Janvier et le maximum en Mars suivi d'une baisse jusqu'en Mai puis d'une remontée jusqu'en Octobre.

3°) En 1963, les minimum ont lieu au début de l'année et en Août et les maximum en Juillet et Octobre.

4°) En 1964, l'on trouve les maximum en Juin et Octobre et les minimum au début de l'année et en Août.

En général, les teneurs des feuilles en Mg sont donc les plus fortes pendant les saisons des pluies. C'est le contraire de ce que nous avions trouvé pour le potassium. La comparaison des graphiques 4 et 6 met particulièrement en évidence l'antagonisme qui joue entre le potassium et le magnésium.

Les variations du taux de Mg sont assez faibles. Le maximum pour le témoin a été de 1,07 % en Mars 1962 et le minimum de 0,78 % en Février 1961, d'où une différence de 0,29 % représentant 31 % de la moyenne. Elles sont donc du même ordre que celles du taux de phosphore.

Les teneurs moyennes annuelles varient très peu ; elles sont de :

0,88 en 1961
0,93 en 1962
0,87 en 1963
et 0,89 en 1964.

### 5.2 - INFLUENCE DE LA FUMURE -

Les différentes fumures ne modifient pas sensiblement la forme de courbe d'absorption du magnésium. Sur les 31 prélèvements effectués, seuls deux d'entre eux montrent des différences significatives dans les teneurs en Mg : le 7 Mai 1962 et le 23 Novembre 1964.

.../.

5.2.1 - 1961 -

L'analyse de la variance donne les résultats suivants :

| Origine de la variation | Degrés de liberté | Variance | F | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Calculé | Théorique | |
| | | | | 5 % | 1 % |
| Blocs | 16 | 183 | 3.1 ++ | 1.74 | 2.17 |
| Fumures | 7 | 149 | 2.5 + | 2.09 | 2.82 |
| Dates | 7 | 59 | 1.0 | 2.09 | 2.82 |
| Fumure x Date | 49 | 41 | 0.7 | 1.47 | 1.71 |
| Erreur | 112 | 58 | | | |

Pour la première fois nous constatons que l'effet de la date du prélèvement n'est pas significatif.

Les fumures provoquent par contre des différences significatives dans les teneurs en magnésium :

| Fumure | M .S |
|---|---|
| NP | 0,967 |
| PK | 0,942 |
| NPK | 0,939 |
| P | 0,933 |
| N | 0,910 |
| NK | 0,904 |
| T | 0,880 |
| K | 0,876 |

CV = 8,3
ppds :
P = 0,05 : 0,044

Toutes les fumures renfermant du phosphate bicalcique déterminent une augmentation significative des teneurs en magnésium par rapport au témoin.

.../.

5.2.2 - 1962 -

L'analyse de la variance se présente comme suit :

| Origine de la variation | Degrés de liberté | Variance | F | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Calculé | Théorique | |
| | | | | 5 % | 1 % |
| Blocs | 14 | 215 | 2.4 ++ | 1.79 | 2.16 |
| Fumures | 7 | 287 | 3.2 ++ | 2.10 | 2.82 |
| Dates | 6 | 358 | 3.9 ++ | 2.19 | 2.99 |
| Fumure x Date | 42 | 62 | 0.7 | 1.51 | 1.79 |
| Erreur | 98 | 90 | | | |

L'époque du prélèvement provoque à nouveau des différences significatives dans les teneurs en magnésium. D'autre part, l'influence de la fumure est plus marquée que l'année précédente ; elle peut se résumer dans le tableau suivant :

| Fumure | Mg % M.S |
|---|---|
| NP | 0,991 |
| NPK | 0,944 |
| T | 0,930 |
| P | 0,928 |
| N | 0,922 |
| PK | 0,916 |
| NK | 0,905 |
| K | 0,862 |
| CV = 10,5 | |
| ppds : | |
| P = 0,05 : 0,059 | P = 0,01 : 0,075 |

Seule la formule NP a produit une augmentation significative des teneurs en Mg par rapport au témoin ; à la différence de l'année précédente les autres fumures renfermant du phosphate bicalcique n'ont pas eu d'effet. Par contre, le sulfate de potasse apporté seul a eu un effet dépressif significatif.

.../.

5.2.3 - 1963 -

L'analyse de la variance donne les résultats suivants :

| Origine de la variation | Degrés de liberté | Variance | F Calculé | F Théorique 5 % | F Théorique 1 % |
|---|---|---|---|---|---|
| Blocs | 18 | 157 | 2.5 ++ | 1.69 | 2.09 |
| Fumures | 7 | 230 | 3.7 ++ | 2.08 | 2.79 |
| Dates | 8 | 317 | 5.2 ++ | 2.01 | 2.65 |
| Fumure x Date | 56 | 35 | 0.5 | 1.44 | 1.66 |
| Erreur | 126 | 61 | | | |

Comme l'année précédente, il existe des différences significatives dues aux dates de prélèvement et aux différentes fumures. L'effet de ces dernières est donné dans le tableau suivant :

| Fumure | Mg % M.S |
|---|---|
| NP | 0,919 |
| P | 0,914 |
| PK | 0,909 |
| T | 0,875 |
| N | 0,875 |
| NPK | 0,873 |
| NK | 0,848 |
| K | 0,845 |
| CV = 8,8 | |
| ppds : | |
| P = 0,05 : 0,042 | P = 0,01 : 0,055 |

Comme en 1962, seule la fumure NP a provoqué une augmentation significative des teneurs en Mg par rapport au témoin. Par contre, l'apport de sulfate de potasse ne provoque plus de diminution significative du taux de magnésium.

.../.

5.2.4 - 1964 -

Le tableau suivant résume l'analyse de la variance :

| Origine de la variation | Degrés de liberté | Variance | F Calculé | F Théorique 5 % | F Théorique 1 % |
|---|---|---|---|---|---|
| Blocs | 14 | 255 | 4.5 ++ | 1.79 | 2.16 |
| Fumures | 7 | 394 | 7.0 ++ | 2.10 | 2.82 |
| Dates | 6 | 388 | 6.9 ++ | 2.19 | 2.99 |
| Fumure x Date | 42 | 43 | 0.7 | 1.51 | 1.79 |
| Erreur | 98 | 56 | | | |

Les conclusions que l'on peut en tirer sont les mêmes que pour les deux années précédentes : la date de prélèvement et la fumure ont des effets significatifs.

L'effet de la fumure est indiqué dans le tableau suivant :

| Fumure | Mg % M.S |
|---|---|
| P | 0,986 |
| NP | 0,952 |
| PK | 0,943 |
| N | 0,938 |
| NPK | 0,920 |
| T | 0,889 |
| NK | 0,871 |
| K | 0,869 |

CV = 8,1
ppds :
P = 0,05 : 0,045 P = 0,01 : 0,060

L'effet du phosphate bicalcique se fait d'avantage sentir que les deux années précédentes, puisque les trois formules P, NP et PK déterminent maintenant des augmentations significatives par rapport au témoin ; pour la première fois le même résultat est obtenu par l'apport de sulfate d'ammoniaque.

.../.

5.2.5 - Période 1961-1964 -

Les valeurs des effets principaux et des interactions exprimées en %₀ du témoin sont les suivantes :

| | 1961 | 1962 | 1963 | 1964 |
|---|---|---|---|---|
| Effet principal | | | | |
| N | + 25.0 | + 31.1 | - 8.0 | - 2.2 |
| P | + 59.1 ++ | + 46.2 | + 49.1 | + 65.2 ++ |
| K | - 7.9 | - 36.5 | - 30.8 | - 45.0 |
| Interaction 1er ordre N x P | - 7.9 | + 12.9 | - 9.1 | - 18.0 |
| N x K | - 11.3 | - 2.1 | - 11.4 | - 10.1 |
| P x K | - 2.2 | + 9.6 | + 1.1 | + 3.3 |
| Interaction 2e ordre N x P x K | - 10.2 | - 25.8 | - 12.5 | + 34.8 |
| Seuil de signification : 5 % | 50.0 | 60.2 | 50.2 | 49.5 |
| 1 % | 57.9 | 69.8 | 58.3 | 57.3 |

Seul l'effet du phosphate bicalcique est donc significatif, et seulement deux années sur quatre.

L'effet du sulfate de potasse, qui est négatif, va en augmentant chaque année et atteint presque le seuil de signification en 1964. Nous avons vu qu'il était positif et allait en augmentant en ce qui concernait les teneurs en potassium. Nous retrouvons donc encore là l'antagonisme K - Mg.

5.3 - CONCLUSIONS -

Les principales caractéristiques de la nutrition magnésienne à Niabley sont donc :

1°) Une teneur maximum des feuilles en Mg pendant la saison sèche
2°) Des variations faibles au cours de l'année
3°) Très peu de variations entre les moyennes annuelles
4°) Une augmentation des teneurs en Mg lorsque l'on apporte du phosphate bicalcique comme engrais.
5°) Un effet dépressif non significatif mais de plus en plus marqué chaque année du sulfate de potasse
6°) Un antagonisme marqué entre le potassium et le magnésium.

.../.

## B. ETUDE DES RAPPORTS ENTRE LES DIFFERENTS ELEMENTS NUTRITIFS

### 1. ETUDE DU RAPPORT N/P -

Nous avons vu que les variations des teneurs en P étaient relativement plus fortes que celles des teneurs en N. Le rapport N/P dépend donc d'avantage de P que de N et nous pouvons constater dans le tableau 2 qu'il passe par un maximum au moment où P est minimum, c'est-à-dire en Mai-Juin, alors qu'il atteint ses valeurs les plus basses pendant la grande saison sèche lorsque le taux de P est à son maximum.

D'autre part, les fumures azotées augmentent de façon continue le taux de N dans les feuilles et ont une tendance de plus en plus marquée à abaisser le taux de P. Il en résulte que les parcelles N et NK ont, à partir de fin 1963, un rapport N/P supérieur à celui du témoin.

La fumure potassique n'a pas d'effet sur la valeur du rapport N/P.

La fumure phosphatée a une action marquée sur les teneurs en P qu'elle élève et les teneurs en N qu'elle diminue. Il en résulte un rapport N/P plus faible dans les parcelles P. Cette diminution de la valeur de N/P existe aussi, mais à un degré moindre dans les parcelles PK et NPK ; on ne la constate dans les parcelles NP qu'à partir de 1963.

En résumé, l'on peut constater que les valeurs de N/P permettent de grouper les différentes fumures en 3 groupes :

1°) N/P inférieur à celui du témoin
P - PK - NPK et NP

2°) N/P égal à celui du témoin
K et T

3°) N/P supérieur à celui du témoin
N et NK.

.../.

## 2. ETUDE DE LA SOMME S = K + Ca + Mg -

### 2.1 Variations saisonnières -

Les plus fortes variations de teneurs pour les cations ayant été enregistrées avec le potassium, il en résulte que les variations de S sont sous la dépendance principale de celles de K. Ainsi, les valeurs maximum se trouvent en fin de grande saison sèche et les valeurs minimum en fin de grande saison des pluies, comme pour les teneurs en potassium.

La diminution des teneurs en K et Ca de 1961 à 1963 se traduit par une baisse de S dont la moyenne annuelle pour le témoin passe de :

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 3,92 | en | 1961 |
| à | 3,57 | en | 1962 |
| et | 3,02 | en | 1963 |

soit une diminution de 23 % (tableau 3).

L'on note ensuite très peu de différence entre 1963 et 1964.

Par rapport au témoin, la fumure NP a un effet dépressif sur la valeur de S suivie, à un degré moindre, par les formules N et P.

Au contraire, les fumures potassiques provoquent en général une augmentation de S ; cet effet est surtout sensible avec la formule NPK.

Ces variations dues aux différentesfumures sont cependant relativement faibles. Ainsi, les différences entre les valeurs les plus fortes et les plus faibles sont de :

| | | |
|---|---|---|
| 0,22 | en | 1961 |
| 0,23 | " | 1962 |
| 0,19 | " | 1963 |
| 0,27 | " | 1964 |

ce qui ne représente par rapport à la valeur S du témoin

| | | | |
|---|---|---|---|
| que | 5.1 % | en | 1961 |
| | 6.7 % | " | 1962 |
| | 6.5 % | " | 1963 |
| et | 8.4 % | " | 1964 |

.../.

2.2 Etude des rapports entre K, Ca et Mg -

En exprimant les valeurs de K, Ca et Mg en % de S, l'on obtient un équilibre ternaire pouvant être représenté sur un graphique à coordonnées trilinéaires.

En prenant dans le tableau 4 les valeurs minimum et maximum atteintes respectivement par K, Ca et Mg et en reportant sur le graphique 7 les équilibres correspondant à ces six points, l'on peut tracer un hexagone à l'intérieur duquel se trouveront tous les points correspondant aux différents équilibres rencontrés.

Si l'on considère les moyennes annuelles des équilibres K - Ca - Mg, l'on constate pour les parcelles T que pendant les trois premières années, le pourcentage de Ca diminue au profit du magnésium, le potassium restant sensiblement constant ; puis en 1964, c'est le potassium qui diminue au profit du calcium (graphique 8).

Cette baisse du pourcentage de Ca pendant les trois premières années se trouve dans tous les objets quelle que soit la fumure apportée.

La fumure N donne un diagramme identique à celui du témoin, alors que K et NK remontent légèrement le pourcentage de potassium. Les fumures renfermant du phosphate bicalcique abaissent au contraire le taux de potassium, au profit du calcium lorsqu'elles apportent en même temps du sulfate de potasse, au profit à la fois du calcium et du magnésium lorsqu'elles ne renferment pas de potasse.

Il faut noter que les variations des pourcentages de K en ce qui concerne les effets de la formule PK sont très faibles et qu'en particulier l'on ne retrouve pas de baisse sensible au cours de la dernière année. Cette formule donnant d'autre part des rendements très supérieurs à toutes les autres, l'on peut penser que dans les conditions écologiques et pédologiques de l'essai, l'on serait alors parvenu à un équilibre stable K - Ca - Mg qui se rapprocherait de l'optimum ; dans ces conditions, celui-ci serait alors de 47 - 25 - 28, ce chiffre étant, bien entendu, une moyenne annuelle.

3. CORRELATION ENTRE LES DIVERS ELEMENTS -

Comme il s'agissait des résultats du premier essai d'engrais sur cacaoyers effectués en Côte d'Ivoire, nous avons cherché s'il existait des corrélations entre les teneurs en différents éléments pris deux à deux, et ceci pour chacun des prélèvements de feuilles. Les coefficients de corrélation ainsi calculés sont donnés par le tableau 5.

Nous avons ensuite cherché en regroupant les valeurs obtenues pour r pour les prélèvements d'une même année, si l'on pouvait trouver un coefficient de corrélation significatif pour l'ensemble de

.../.

l'année. Pour cela nous avons transformé r en z = arg.th r dont la distribution se rapproche d'avantage de la normale que celle de r. Nous avons ainsi pu calculer un coefficient de corrélation moyen z duquel nous avons pu déduire une valeur moyenne pour r. Ces coefficients de corrélation moyens annuels sont donnés par le tableau 6.

Il est bien certain qu'à partir de ce seul essai nous ne pourrons mettre en évidence que des relations concomitantes entre deux éléments et non pas affirmer qu'il y a là un rapport de cause à effet. Ce sera le but de nouveaux essais d'essayer de préciser si celui-ci existe. Pour chacun des prélèvements les valeurs limites de r sont de :

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 0,400 | au seuil de probabilité | 0,05 |
| | 0,512 | " | 0,01 |
| et | 0,625 | " | 0,001 |

En ce qui concerne les valeurs annuelles moyennes, les valeurs limites de r varient avec le nombre de prélèvements effectués dans l'année ; elles sont les suivantes :

| Années | Seuil de probabilité | | |
|---|---|---|---|
| | 0,05 | 0,01 | 0,001 |
| 1963 | 0,140 | 0,183 | 0,233 |
| 1961 | 0,150 | 0,195 | 0,248 |
| 1962 - 1964 | 0,156 | 0,203 | 0,257 |

3.1 Corrélation azote x phosphore -

Le coefficient de corrélation reliant les teneurs en azote et en phosphore est dans l'ensemble positif, mais rarement significatif (5 seulement sur les 31 étudiés).

En ce qui concerne les valeurs moyennes annuelles, le coefficient de corrélation est significatif en 1961 et 1962 mais ne l'est plus en 1963 et 1964.

Au début de la période étudiée les teneurs en azote et phosphore ont donc tendance à évoluer dans le même sens. Cette liaison n'existe plus ensuite. Ceci peut s'expliquer par les deux raisons suivantes :

1°) L'apport d'azote augmente les teneurs en N et a une action dépressive de plus en plus marquée sur les teneursen P.

2°) L'apport de phosphore élève les teneursen P alors que son action dépressive sur les teneurs en N va en augmentant.

.../.

3.2 Corrélation N x K -

Comme pour la précédente, celle-ci est positive et elle est également rarement significative (5 fois sur les 31 étudiées).

Le prélèvement d'Avril 1961 montre une corrélation négative très hautement significative, mais dans les corrélations étudiées à cette date toutes celles qui font intervenir N sont aberrantes y compris celle entre les teneurs en azote des feuilles et les rendements des cacaoyers. Les analyses ont été refaites et l'on a eu confirmation des chiffres obtenus. Il semble donc qu'il faille retenir l'hypothèse d'une contamination des échantillons pendant leur transport.

Si nous considérons maintenant le coefficient de corrélation annuel nous pouvons noter qu'il est assez faible mais cependant significatif sauf en 1963.

Nous avons vu que l'influence de l'apport d'azote sur les teneurs en K était très irrégulière et que l'action dépressive de l'apport de potasse sur les teneurs en azote allait en diminuant. L'étude des corrélations entre les teneurs en ces 2 éléments permet en outre de préciser l'existence d'une liaison positive entre les teneurs en ces deux éléments.

3.3 Corrélation azote x calcium -

Si le coefficient de corrélation entre l'azote et le calcium est généralement négatif, il est très faible et n'atteint que 4 fois le seuil de signification.

Le coefficient de corrélation annuel n'est significatif qu'en 1962 et 1964, et ne dépasse guère alors le seuil de probabilité P=0,05. La liaison négative entre l'azote et le calcium est donc extrêmement lâche.

3.4 Corrélation azote x magnésium -

Les résultats sont dans l'ensemble du même ordre que ceux obtenus pour la corrélation azotexcalcium. Le coefficient de corrélation est négatif mais il n'est significatif que pour un seul prélèvement.

De même pour l'ensemble des prélèvements effectués chaque année, le coefficient de corrélation n'atteint le seuil de probabilité 5 % qu'en 1964. Comme celle existant entre l'azote et le calcium, la corrélation liant l'azote au magnésium est donc extrêmement faible.

.../.

3.5 Corrélation phosphore x potassium -

Les liaisons entre les teneurs en phosphore et en potassium sont ici très lâches et le coefficient de corrélation n'est significatif que pour trois prélèvements. Il est généralement négatif. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que l'apport de phosphore se fait sous forme de phosphate bicalcique ; le calcium qui est apporté en même temps freinerait alors l'absorption du potassium.

D'autre part, le coefficient de corrélation moyen annuel n'est significatif qu'en 1963.

3.6 Corrélation phosphore x calcium -

Ces deux éléments étaient apportés en même temps par le phosphate bicalcique. Six prélèvements ont donné un coefficient de corrélation significatif. Celui-ci est, la plupart du temps, positif à l'exception du début de la grande saison sèche (Décembre et Janvier) où il est négatif. L'on peut voir effectivement sur le graphique 5 représentant les variations des teneurs en calcium, que le taux de Ca dans les parcelles P devient alors inférieur à celui des parcelles témoins, alors que c'est le contraire durant le reste de l'année.

Dans ces conditions le coefficient de corrélation annuel n'a plus grande signification. S'il est significatif en 1964, il convient de remarquer que cette année là le prélèvement du mois de Janvier n'a pu être effectué ; la présence d'une valeur négative en Janvier aurait pu ramener la valeur moyenne de r en dessous du seuil de probabilité pour P = 0,05.

3.7 Corrélation phosphore x magnésium -

L'on peut faire à peu près les mêmes constatations que pour la corrélation précédente, mais le changement de signe du coefficient de corrélation pendant la grande saison sèche est moins nettement marqué. Il en résulte que le coefficient de corrélation moyen annuel est positif et significatif les deux dernières années ; il est particulièrement élevé en 1964 puisqu'il dépasse alors le seuil de probabilité P = 0,001.

Par contre, il n'y a toujours que 6 prélèvements qui aient donné une valeur significative pour le coefficient de corrélation ; à l'exception d'un seul, ce sont les mêmes que ceux qui avaient donné un coefficient de corrélation significatif entre les teneurs en phosphore et en calcium.

.../.

3.8 Corrélation potassium x calcium -

La liaison entre le potassium et le calcium est très étroite puisque le coefficient de corrélation a une valeur significative pour 24 prélèvements. Il est négatif et atteint souvent le seuil de probabilité P = 0,001.

Il y a donc un antagonisme marqué entre les teneurs en potassium et en calcium, qui semble être constant tout au long de l'année.

Le coefficient de corrélation moyen annuel est également très élevé et il dépasse chaque année le seuil de probabilité pour P = 0,001.

3.9 Corrélation potassium x magnésium -

Ce sont les deux éléments qui sont les plus fortement liés ; en effet, 28 prélèvements ont donné une valeur significative au coefficient de corrélation qui, comme pour la corrélation potassium-calcium, est toujours négatif et dépasse très souvent le seuil de probabilité P = 0,001. Cette liaison négative entre les teneurs en potassium et en magnésium se manifeste durant toute l'année sans que l'on puisse mettre en évidence des périodes où elle soit plus marquée.

Il en résulte que le coefficient de corrélation moyen annuel est également très élevé et est toujours significatif à P = 0,001.

3.10 Corrélation calcium x magnésium -

Bien qu'un peu moins marquée que les deux précédentes, la liaison entre les teneurs en calcium et magnésium est encore très forte. Le coefficient de corrélation, qui est positif, prend des valeurs significatives pour 23 prélèvements. Ici encore, il ne semble pas que l'on puisse trouver des périodes de l'année où la liaison soit plus ou moins forte.

Le coefficient de corrélation moyen annuel dépasse toujours le seuil de signification pour P = 0,001.

3.11 Conclusions -

En résumé :

- La liaison entre les 2 anions étudiés, azote et phosphore, a un coefficient de corrélation généralement positif mais rarement significatif.

- Les liaisons entre cations sont au contraire très fortes ; les teneurs en potassium varient en sens inverse de celles en calcium et magnésium, alors que ces deux dernières évaluent dans le même sens.

.../.

- Les corrélations entre les anions et les cations sont faibles ; la plus marquée est celle qui relie les teneurs en azote aux teneurs en potasse ; elle est positive. L'on peut remarquer d'autre part, que bien que les valeurs de r ne soient généralement pas significatives, elles sont négatives entre phosphore et potassium et positives entre phosphore et calcium et phosphore et magnésium alors que c'est le contraire en ce qui concerne l'azote.

## C. CONCLUSIONS

Le diagnostic foliaire, tel qu'il est pratiqué à l'I.F.C.C. sur le cacaoyer a permis de mettre en évidence l'influence des diverses fumures sur la composition minérale des feuilles.

L'on a pu constater que les plus grandes variations en éléments nutririfs étaient dues à l'époque du prélèvement foliaire. En ce qui concerne les trois éléments N, P et K qui sont ceux que l'on apporte généralement sous forme d'engrais, les besoins maximum en azote se trouvent en Mars, ceux en phosphore entre Décembre et Mars et ceux en potasse en Février-Mars ; l'on note en outre des besoins également assez élevés en phosphore et potasse au mois d'Août. D'autre part, il y a des poussées foliaires importantes au cours de la petite saison des pluies d'où également des besoins en azote à partir du mois de Septembre.

Il semble donc dans ces conditions qu'il conviendrait d'apporter les engrais en deux fois, fin Février et début Août. Mais l'on se trouve alors en période sèche et deux aléas sont à craindre :

1°) des brûlures aux jeunes racines absorbantes qui se trouvent dans l'horizon superficiel du sol,

2°) une tornade survenant après l'épandage d'engrais ce qui pourrait en faire perdre une partie par lessivage ou érosion.

En vue de tester les avantages et inconvénients de cette méthode, un essai de dates d'épandages des engrais a été implanté à la Station de DIVO en 1966.

D'autre part, l'apport d'un élément fertilisant agit sur la teneur des feuilles en cet élément mais aussi le plus souvent sur celles des autres.

Ainsi, les engrais azotés augmentent les taux d'azote mais tendent à diminuer le taux de phosphore.

Le phosphate bicalcique élève les teneurs en phosphore et en calcium, éléments apportés par l'engrais, mais aussi celles en magnésium alors qu'il a un effet dépressif sur les taux d'azote et de potasse.

Enfin, le sulfate de potasse a eu des effets moins marqués et non significatifs. Il a cependant tendance à augmenter le taux de potassium et à abaisser les teneurs en azote et surtout en magnésium.

.../.

D'autre part, les corrélations entre les teneurs en cations sont très importantes ; le potassium est antagoniste du calcium et surtout du magnésium.

Il résulte de ceci qu'il conviendra d'être particulièrement prudent dans le choix des formules d'engrais. Ainsi, dans cet essai, la principale carence à corriger était un manque de phosphore. Mais, si l'on s'était limité à un apport de phosphate bicalcique seul, l'on aurait certes corrigé la nutrition phosphorée, mais l'on aurait fini par induire une carence potassique, d'où l'intérêt d'apporter en même temps du sulfate de potasse ; or, nous avons vu dans la première partie de cette étude que c'était bien la formule PK qui avait donné les meilleurs rendements.

Mais la fumure phosphatée ayant un effet dépressif de plus en plus marqué sur la nutrition azotée, il conviendra de surveiller particulièrement celle-ci afin de pouvoir apporter à temps un engrais azoté pour compenser les diminutions du taux d'azote due à la fumure PK.

Enfin, il faut noter qu'après 9 années de fumures il ne s'était pas encore établi d'équilibre nutritif avec les différentes formules essayées ; les parcelles PK semblent bien avoir atteint un équilibre K - Ca - Mg, mais les teneursen N continuent de diminuer. Si l'on considère en plus qu'il a fallu trois ans avant de pouvoir trouver un effet significatif de la fumure sur les rendements, l'on retiendra que les essais d'engrais sur cacaoyers doivent être poursuivis pendant de nombreuses années avant que l'on ne puisse en tirer des renseignements valables.

L'ombrage ayant, en outre, une influence primordiale dans la nutrition minérale et les rendements du cacaoyer, il est dans ces conditions très difficile de mettre en place des essais en dehors des stations de recherches, chez les cultivateurs, essais, qui puissent être poursuivis sans aléas pendant une durée assez longue. C'est sans doute là une des raisons pour lesquelles, souvent, les essais d'engrais sur cacaoyers ne donnent pas de résultats significatifs.

- TABLEAU 1 -

| Dates | N | P | K | Ca | Mg |
|---|---|---|---|---|---|
| 6. 1.61 | | | | | |
| 15. 2.61 | | | | | |
| 4. 4.61 | | | | | |
| 18. 5.61 | | | | + | |
| 28. 6.61 | | | | + | |
| 14. 8.61 | | | | | |
| 9.10.61 | | | | | |
| 20.11.61 | | | | | |
| | | | | | |
| 4. 1.62 | + | ++ | | | |
| 13. 2.62 | ++ | ++ | | | |
| 26. 3.62 | | | | + | |
| 7. 5.62 | + | | | | ++ |
| 18. 6.62 | | + | | | |
| 22.10.62 | | ++ | | | |
| 3.12.62 | | | | | |
| | | | | | |
| 21. 1.63 | | | | | |
| 4. 3.63 | | | | | |
| 16. 4.63 | | | | | |
| 27. 5.63 | + | | | | |
| 8. 7.63 | | ++ | | | |
| 19. 8.63 | | + | + | | |
| 7.10.63 | | ++ | | | |
| 11.11.63 | | + | | | |
| 16.12.63 | | | | | |
| | | | | | |
| 16. 3.64 | | | | | |
| 27. 4.64 | | | | | |
| 11. 6.64 | | | | ++ | |
| 20. 7.64 | | | | | |
| 31. 8.64 | + | ++ | | | |
| 12.10.64 | + | + | | | |
| 23.11.64 | ++ | + | | | + |

\+ Différence significative pour P = 0,05

++ Différence significative pour P = 0,01

- TABLEAU 2 -

Valeur du rapport N/P

| Dates | N | P | K | NP | NK | PK | NPK | T |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6. 1.61 | 18.21 | 17.18 | 16.31 | 18.71 | 19.42 | 16.66 | 17.44 | 18.07 |
| 15. 2.61 | 20.54 | 19.76 | 17.95 | 19.76 | 19.58 | 18.42 | 17.59 | 19.45 |
| 4. 4.61 | 19.32 | 17.34 | 20.03 | 18.53 | 17.19 | 17.40 | 18.60 | 17.41 |
| 18. 5.61 | 20.40 | 18.27 | 21.50 | 20.19 | 21.73 | 18.56 | 19.48 | 21.77 |
| 28. 6.61 | 20.37 | 16.90 | 20.29 | 18.65 | 19.92 | 18.08 | 17.55 | 20.98 |
| 14. 8.61 | 21.68 | 18.66 | 21.41 | 19.77 | 20.94 | 19.27 | 19.05 | 20.72 |
| 9.10.61 | 21.43 | 19.97 | 22.87 | 21.30 | 22.21 | 18.09 | 20.59 | 22.12 |
| 20.11.61 | 22.23 | 18.82 | 19.57 | 21.97 | 22.60 | 20.12 | 19.18 | 22.52 |
| 4. 1.62 | 20.00 | 16.97 | 21.08 | 20.62 | 20.24 | 20.74 | 19.16 | 23.00 |
| 13. 2.62 | 20.19 | 16.52 | 21.31 | 22.69 | 20.44 | 18.78 | 18.36 | 21.16 |
| 26. 3.62 | 22.57 | 19.35 | 24.11 | 22.79 | 21.60 | 18.84 | 21.46 | 21.89 |
| 7. 5.62 | 22.31 | 20.50 | 23.47 | 22.61 | 23.89 | 21.42 | 20.97 | 24.59 |
| 18. 6.62 | 26.37 | 20.76 | 24.58 | 25.10 | 23.87 | 23.52 | 21.18 | 24.53 |
| 22.10.62 | 20.92 | 19.01 | 21.93 | 21.42 | 22.40 | 20.14 | 19.76 | 21.47 |
| 3.12.62 | 21.19 | 17.24 | 17.63 | 18.78 | 18.77 | 18.23 | 16.51 | 17.12 |
| 21. 1.63 | 20.22 | 15.35 | 18.24 | 18.73 | 19.20 | 17.41 | 16.51 | 18.57 |
| 4. 3.63 | 20.80 | 17.77 | 18.52 | 18.72 | 20.24 | 17.33 | 17.48 | 19.86 |
| 16. 4.63 | 19.08 | 17.58 | 19.06 | 18.92 | 20.29 | 18.33 | 17.61 | 21.20 |
| 27. 5.63 | 20.71 | 15.97 | 19.20 | 18.32 | 19.40 | 18.07 | 19.54 | 20.21 |
| 8. 7.63 | 22.46 | 16.41 | 20.53 | 19.76 | 20.80 | 18.08 | 18.48 | 20.10 |
| 19. 8.63 | 19.80 | 17.66 | 20.65 | 17.95 | 19.62 | 17.84 | 18.99 | 20.05 |
| 7.10.63 | 20.63 | 17.58 | 20.60 | 18.92 | 21.17 | 17.87 | 18.92 | 20.20 |
| 11.11.63 | 21.44 | 15.88 | 19.16 | 18.79 | 20.42 | 17.39 | 18.30 | 20.10 |
| 16.12.63 | 19.12 | 16.04 | 18.89 | 18.52 | 19.90 | 17.91 | 16.31 | 18.70 |
| 16. 3.64 | 18.99 | 17.44 | 18.21 | 17.92 | 20.84 | 17.26 | 17.57 | 18.96 |
| 27. 4.64 | 23.38 | 20.18 | 22.17 | 22.63 | 23.63 | 21.33 | 22.05 | 22.67 |
| 11. 6.64 | 25.03 | 20.92 | 22.60 | 22.97 | 24.03 | 21.69 | 22.38 | 24.01 |
| 20. 7.64 | 24.87 | 20.55 | 22.63 | 21.64 | 24.82 | 22.81 | 22.12 | 23.88 |
| 31. 8.64 | 24.52 | 19.41 | 23.55 | 22.50 | 24.95 | 20.69 | 21.88 | 23.15 |
| 12.10.64 | 24.55 | 19.02 | 23.06 | 21.37 | 23.92 | 20.48 | 20.55 | 22.38 |
| 23.11.64 | 22.15 | 19.44 | 21.58 | 21.02 | 22.87 | 18.24 | 20.25 | 20.74 |

## - TABLEAU 3 -

S = K + Ca + Mg

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6. 1.61 | 4.47 | 4.66 | 4.73 | 4.44 | 4.79 | 4.61 | 4.53 | 4.54 |
| 15. 2.61 | 4.32 | 4.68 | 4.36 | 4.17 | 4.50 | 4.47 | 4.29 | 4.21 |
| 4. 4.61 | 4.24 | 4.39 | 4.52 | 4.48 | 4.62 | 4.28 | 4.43 | 4.38 |
| 18. 5.61 | 3.57 | 3.46 | 3.56 | 3.62 | 3.67 | 3.64 | 3.41 | 3.46 |
| 28. 6.61 | 3.66 | 3.60 | 3.69 | 3.51 | 3.54 | 3.43 | 3.66 | 3.27 |
| 14. 8.61 | 3.40 | 3.50 | 3.60 | 3.34 | 3.42 | 3.61 | 3.56 | 3.61 |
| 9.10.61 | 3.80 | 3.80 | 3.74 | 3.51 | 3.63 | 3.75 | 3.56 | 3.60 |
| 20.11.61 | 3.37 | 3.79 | 4.08 | 3.43 | 3.68 | 3.95 | 3.46 | 4.32 |
| 1961 | 3.85 | 3.98 | 4.03 | 3.81 | 3.98 | 3.97 | 3.86 | 3.92 |
| 4. 1.62 | 3.64 | 3.89 | 3.71 | 3.58 | 3.89 | 3.74 | 3.97 | 3.44 |
| 13. 2.62 | 3.85 | 3.96 | 3.86 | 3.77 | 4.02 | 3.67 | 3.89 | 3.87 |
| 26. 3.62 | 3.61 | 3.70 | 3.46 | 3.72 | 3.88 | 3.39 | 3.85 | 3.73 |
| 7. 5.62 | 3.57 | 3.59 | 3.69 | 3.80 | 3.78 | 3.64 | 3.81 | 3.58 |
| 18. 6.62 | 3.14 | 3.37 | 3.43 | 3.22 | 3.28 | 3.17 | 3.29 | 3.26 |
| 22.10.62 | 3.31 | 3.46 | 3.35 | 3.22 | 3.57 | 3.38 | 3.69 | 3.40 |
| 3.12.62 | 3.28 | 3.26 | 3.42 | 3.34 | 3.56 | 3.35 | 3.58 | 3.45 |
| 1962 | 3.49 | 3.60 | 3.56 | 3.52 | 3.71 | 3.48 | 3.73 | 3.57 |
| 4. 1.63 | 3.43 | 3.40 | 3.68 | 3.30 | 3.63 | 3.39 | 3.53 | 3.53 |
| 4. 3.63 | 3.56 | 3.54 | 3.68 | 3.41 | 3.68 | 3.66 | 3.61 | 3.76 |
| 16. 4.63 | 3.18 | 3.30 | 3.38 | 3.12 | 3.21 | 3.30 | 3.41 | 3.17 |
| 27. 5.63 | 2.67 | 2.67 | 2.84 | 2.65 | 2.78 | 2.85 | 2.93 | 2.71 |
| 8. 7.63 | 2.58 | 2.60 | 2.69 | 2.56 | 2.70 | 2.65 | 2.75 | 2.59 |
| 19. 8.63 | 2.78 | 2.73 | 2.95 | 2.73 | 2.81 | 2.63 | 2.75 | 2.85 |
| 7.10.63 | 2.78 | 2.73 | 2.89 | 2.76 | 2.79 | 2.85 | 2.95 | 2.72 |
| 11.11.63 | 2.94 | 2.80 | 2.94 | 2.95 | 3.03 | 2.96 | 3.17 | 2.89 |
| 16.12.63 | 2.75 | 2.80 | 2.79 | 2.76 | 2.86 | 3.00 | 2.90 | 2.93 |
| 1963 | 2.96 | 2.95 | 3.09 | 2.92 | 3.05 | 3.03 | 3.11 | 3.02 |
| 16. 3.64 | 3.27 | 3.30 | 3.46 | 3.28 | 3.24 | 3.67 | 3.53 | 3.29 |
| 27. 4.64 | 2.97 | 2.88 | 3.01 | 2.77 | 3.00 | 2.96 | 3.00 | 3.03 |
| 11. 6.64 | 2.81 | 2.84 | 2.92 | 2.74 | 2.76 | 3.01 | 2.80 | 2.76 |
| 20. 7.64 | 2.83 | 2.78 | 2.80 | 2.74 | 2.95 | 2.73 | 2.87 | 2.78 |
| 31. 8.64 | 3.00 | 3.05 | 3.10 | 2.81 | 3.13 | 3.16 | 3.16 | 3.07 |
| 12.10.64 | 2.99 | 3.09 | 3.20 | 2.92 | 3.23 | 3.20 | 3.05 | 3.18 |
| 23.11.64 | 3.23 | 3.19 | 3.18 | 2.99 | 3.21 | 3.39 | 3.29 | 3.22 |
| 1964 | 3.01 | 3.02 | 3.10 | 2.89 | 3.07 | 3.16 | 3.10 | 3.05 |

- T A B L E A U 4 -

Pourcentage de K, Ca et Mg par rapport à S

| Dates | T | | | N | | | P | | | K | | | NP | | | NK | | | PK | | | NPK | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | K | Ca | Mg | K | Ca | Mg | K | Ca | Mg | K | Ca | Mg | K | Ca | Mg | K | Ca | Mg | K | Ca | Mg | K | Ca | Mg |
| 6. 1.61 | 56.8 | 25.1 | 19.1 | 53.6 | 25.9 | 20.5 | 46.5 | 32.0 | 21.5 | 56.4 | 25.4 | 18.2 | 47.2 | 30.8 | 22.0 | 50.0 | 29.9 | 20.1 | 55.1 | 25.5 | 19.4 | 48.2 | 31.6 | 20.6 |
| 15. 2.61 | 62.6 | 18.6 | 18.8 | 53.6 | 26.4 | 20.0 | 53.7 | 26.4 | 19.9 | 57.6 | 23.2 | 19.2 | 48.4 | 29.0 | 22.6 | 56.8 | 23.3 | 20.9 | 54.7 | 25.1 | 20.2 | 55.9 | 24.2 | 19.9 |
| 4. 4.61 | 48.6 | 30.8 | 20.3 | 49.6 | 29.3 | 21.1 | 43.8 | 35.0 | 21.2 | 49.2 | 31.3 | 19.5 | 42.0 | 36.0 | 22.0 | 50.1 | 30.6 | 19.3 | 47.3 | 31.8 | 20.9 | 46.9 | 32.6 | 20.5 |
| 18. 5.61 | 50.3 | 22.9 | 26.8 | 52.7 | 21.9 | 25.4 | 45.6 | 24.2 | 30.2 | 53.0 | 22.1 | 24.9 | 42.6 | 30.1 | 27.3 | 51.4 | 23.8 | 24.8 | 47.0 | 25.7 | 27.3 | 45.3 | 26.3 | 28.4 |
| 28. 6.61 | 52.7 | 21.5 | 25.8 | 52.0 | 22.1 | 25.9 | 52.2 | 23.2 | 24.6 | 55.9 | 20.9 | 23.2 | 47.2 | 25.1 | 27.7 | 50.8 | 23.5 | 25.7 | 39.9 | 31.6 | 28.5 | 48.0 | 25.7 | 26.3 |
| 14. 8.61 | 52.3 | 22.7 | 25.0 | 47.0 | 25.8 | 27.2 | 46.3 | 26.0 | 27.7 | 51.9 | 22.3 | 25.8 | 48.6 | 23.2 | 28.2 | 50.3 | 23.1 | 26.6 | 44.6 | 27.7 | 27.7 | 46.4 | 25.8 | 27.8 |
| 9.10.61 | 47.0 | 27.6 | 25.4 | 48.6 | 26.4 | 25.0 | 47.8 | 27.7 | 24.5 | 50.0 | 25.3 | 24.7 | 44.0 | 28.4 | 27.6 | 45.9 | 28.9 | 25.2 | 44.9 | 28.9 | 26.2 | 44.9 | 29.4 | 25.8 |
| 20.11.61 | 48.3 | 28.2 | 23.5 | 50.1 | 23.3 | 26.6 | 48.2 | 26.4 | 25.4 | 57.0 | 21.8 | 25.2 | 42.8 | 28.5 | 28.7 | 49.4 | 25.2 | 25.4 | 46.9 | 27.8 | 25.3 | 41.3 | 29.9 | 28.8 |
| 1961 | 52.2 | 24.7 | 23.1 | 50.9 | 25.1 | 24.0 | 48.0 | 27.6 | 24.4 | 53.9 | 24.0 | 23.1 | 45.3 | 28.9 | 25.8 | 50.6 | 26.0 | 23.4 | 47.5 | 28.0 | 24.5 | 47.1 | 28.2 | 24.7 |
| 4. 1.62 | 52.3 | 22.6 | 25.1 | 54.9 | 19.8 | 26.3 | 55.5 | 21.1 | 23.4 | 50.4 | 24.7 | 24.9 | 49.4 | 22.4 | 28.2 | 54.7 | 21.2 | 24.1 | 47.6 | 26.8 | 25.6 | 50.6 | 25.8 | 23.6 |
| 13. 2.62 | 56.0 | 20.4 | 23.6 | 56.8 | 18.8 | 24.4 | 59.0 | 17.3 | 23.7 | 58.0 | 19.2 | 22.8 | 54.2 | 21.6 | 24.2 | 58.1 | 20.1 | 21.8 | 55.3 | 20.6 | 24.1 | 56.1 | 21.5 | 22.4 |
| 26. 3.62 | 47.7 | 23.6 | 28.7 | 54.6 | 20.3 | 25.1 | 51.6 | 23.6 | 24.8 | 55.5 | 19.2 | 25.3 | 50.3 | 22.2 | 27.5 | 54.9 | 19.7 | 25.4 | 55.4 | 20.7 | 23.9 | 50.1 | 22.5 | 27.4 |
| 7. 5.62 | 50.4 | 23.6 | 26.0 | 48.1 | 25.4 | 26.5 | 48.0 | 25.5 | 26.5 | 58.7 | 18.4 | 22.9 | 40.7 | 30.5 | 28.5 | 49.1 | 26.8 | 24.1 | 48.4 | 26.4 | 25.2 | 43.2 | 30.6 | 26.2 |
| 18. 6.62 | 44.9 | 25.5 | 29.6 | 41.3 | 27.7 | 31.0 | 41.3 | 28.7 | 30.0 | 49.1 | 24.1 | 26.8 | 36.1 | 31.9 | 32.0 | 50.9 | 22.3 | 26.8 | 39.0 | 30.7 | 30.3 | 43.6 | 28.3 | 28.2 |
| 22.10.62 | 47.9 | 23.7 | 28.5 | 48.1 | 23.9 | 28.0 | 42.1 | 29.7 | 28.2 | 48.6 | 24.6 | 26.8 | 38.4 | 30.2 | 31.4 | 47.3 | 26.0 | 26.7 | 38.4 | 32.1 | 29.5 | 44.9 | 28.6 | 26.5 |
| 3.12.62 | 55.6 | 19.7 | 24.7 | 52.1 | 21.5 | 26.4 | 41.6 | 28.9 | 29.5 | 62.6 | 15.9 | 21.5 | 45.5 | 27.6 | 26.9 | 54.9 | 22.0 | 23.1 | 45.3 | 26.9 | 27.8 | 47.9 | 27.9 | 24.2 |
| 1962 | 50.7 | 22.7 | 26.6 | 50.8 | 22.5 | 26.7 | 48.4 | 25.0 | 26.6 | 54.7 | 20.9 | 24.4 | 44.9 | 27.7 | 27.4 | 52.8 | 22.6 | 24.6 | 47.1 | 26.3 | 26.6 | 48.1 | 26.4 | 25.5 |
| 21. 1.63 | 55.3 | 19.7 | 25.0 | 57.5 | 17.9 | 24.6 | 54.8 | 19.5 | 25.7 | 65.7 | 13.8 | 20.5 | 49.9 | 23.4 | 27.0 | 61.0 | 17.3 | 21.7 | 52.7 | 21.1 | 26.2 | 53.2 | 22.8 | 24.0 |
| 4. 3.63 | 60.1 | 17.3 | 22.6 | 60.9 | 17.1 | 22.0 | 60.6 | 15.0 | 24.4 | 63.2 | 16.1 | 20.7 | 56.2 | 18.8 | 25.0 | 63.9 | 15.1 | 21.0 | 56.8 | 19.3 | 23.9 | 56.8 | 19.7 | 23.5 |
| 16. 4.63 | 54.4 | 17.7 | 27.9 | 53.8 | 17.0 | 28.2 | 52.2 | 20.9 | 26.9 | 59.7 | 15.8 | 24.5 | 49.5 | 20.5 | 30.0 | 57.1 | 16.8 | 26.1 | 54.1 | 19.4 | 26.5 | 57.4 | 18.0 | 24.6 |
| 27. 5.63 | 51.6 | 14.9 | 33.5 | 52.9 | 14.8 | 32.3 | 47.8 | 17.5 | 34.7 | 55.6 | 15.3 | 29.5 | 49.8 | 16.5 | 34.0 | 51.2 | 15.9 | 32.9 | 47.4 | 18.6 | 34.0 | 51.4 | 18.7 | 29.9 |
| 8. 7.63 | 48.2 | 15.7 | 36.1 | 45.7 | 18.7 | 36.6 | 42.4 | 18.3 | 39.3 | 49.8 | 15.9 | 34.3 | 43.0 | 17.6 | 39.4 | 46.6 | 18.5 | 34.9 | 46.3 | 18.1 | 35.6 | 48.3 | 18.2 | 33.5 |
| 19. 8.63 | 53.9 | 16.5 | 29.5 | 51.1 | 17.9 | 31.0 | 44.4 | 22.6 | 33.0 | 48.6 | 20.0 | 31.4 | 47.2 | 19.9 | 32.9 | 51.6 | 19.1 | 29.3 | 41.3 | 23.5 | 35.2 | 49.1 | 19.7 | 31,2 |
| 7.10.63 | 41.0 | 24.1 | 34.9 | 44.1 | 20.5 | 35.4 | 40.8 | 25.4 | 33.8 | 48.2 | 20.9 | 30.9 | 43.6 | 22.8 | 33.6 | 46.2 | 24.1 | 29.7 | 38.3 | 28.4 | 35.3 | 44.1 | 24.1 | 31.8 |
| 11.11.63 | 47.8 | 23.2 | 29.0 | 44.5 | 25.7 | 29.8 | 32.7 | 33.3 | 34.0 | 45.0 | 26.0 | 29.0 | 40.5 | 26.7 | 32.8 | 46.7 | 25.4 | 27.9 | 44.0 | 26.5 | 29.5 | 43.0 | 28.1 | 28.9 |
| 16.12.63 | 48.0 | 23.5 | 28.5 | 49.7 | 19.4 | 30.9 | 41.6 | 23.6 | 34.8 | 45.7 | 22.5 | 31.8 | 38.7 | 28.2 | 33.1 | 42.8 | 25.0 | 32.2 | 46.0 | 25.0 | 29.0 | 45.3 | 25.2 | 29.5 |
| 1963 | 51.1 | 19.2 | 29.7 | 51.1 | 18.8 | 30.1 | 46.4 | 21.8 | 31.8 | 53.5 | 18.5 | 28.0 | 46.5 | 21.6 | 31.9 | 51.9 | 19.7 | 28.4 | 47.4 | 22.2 | 30.4 | 49.8 | 21.6 | 28.6 |
| 16. 3.64 | 56.7 | 17.3 | 26.0 | 59.8 | 14.7 | 25.5 | 55.0 | 17.5 | 27.5 | 61.8 | 15.2 | 23.0 | 58.6 | 16.0 | 25.4 | 56.1 | 16.8 | 27.1 | 62.5 | 15.2 | 32.3 | 54.8 | 19.7 | 25.5 |
| 27. 4.64 | 52.8 | 17.7 | 29.5 | 50.8 | 16.5 | 36.7 | 43.4 | 20.6 | 36.0 | 52.5 | 17.6 | 29.9 | 43.6 | 21.9 | 34.5 | 49.8 | 20.4 | 29.8 | 50.5 | 19.3 | 30.2 | 47.7 | 23.0 | 29.3 |
| 11. 6.64 | 41.0 | 25.4 | 33.6 | 41.5 | 25.4 | 33.1 | 39.5 | 26.8 | 33.7 | 46.1 | 22.2 | 31.7 | 33.8 | 29.3 | 36.9 | 41.3 | 27.4 | 31.3 | 42.5 | 24.5 | 33.0 | 38.4 | 29.6 | 32.0 |
| 20. 7.64 | 39.0 | 29.5 | 31.5 | 39.9 | 25.7 | 34.4 | 31.0 | 30.6 | 38.4 | 41.8 | 26.5 | 31.7 | 29.9 | 31.6 | 38.5 | 42.9 | 26.9 | 30.2 | 34.0 | 29.8 | 36.2 | 33.9 | 32.4 | 33.7 |
| 31. 8.64 | 48.9 | 23.3 | 27.8 | 45.2 | 23.3 | 31.5 | 41.3 | 26.0 | 32.7 | 49.5 | 21.4 | 29.1 | 38.9 | 27.4 | 33.7 | 45.6 | 25.8 | 28.6 | 43.7 | 25.3 | 31.0 | 42.1 | 27.0 | 32.9 |
| 12.10.64 | 48.9 | 21.0 | 30.1 | 47.5 | 20.1 | 32.4 | 42.1 | 23.5 | 34.4 | 53.9 | 18.4 | 27.7 | 41.0 | 24.9 | 34.1 | 50.4 | 21.9 | 27.7 | 44.1 | 24.0 | 31.9 | 43.3 | 24.8 | 31.9 |
| 23.11.64 | 46.5 | 25.4 | 28.1 | 48.4 | 22.2 | 29.4 | 42.4 | 28.6 | 29.0 | 47.5 | 27.0 | 25.5 | 40.5 | 29.5 | 30.0 | 46.6 | 28.0 | 25.4 | 44.4 | 27.2 | 28.4 | 45.0 | 28.4 | 26.6 |
| 1964 | 47.7 | 22.8 | 29.5 | 47.6 | 21.1 | 31.3 | 42.1 | 24.8 | 33.1 | 50.4 | 21.2 | 28.4 | 40.9 | 25.9 | 33.2 | 47.5 | 23.9 | 28.6 | 46.0 | 23.6 | 30.4 | 43.6 | 26.4 | 30.0 |

## - TABLEAU 5 -

**Coefficients de corrélation**

| Dates | N-P | N-K | N-Ca | N-Mg | P-K | P-Ca | P-Mg | K-Ca | K-Mg | Ca-Mg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6. 1.61 | -0.042 | -0.091 | 0.146 | 0.318 | 0.138 | -0.127 | -0.012 | -0.686 | -0.654 | 0.655 |
| 15. 2.61 | 0.358 | 0.201 | -0.254 | -0.295 | -0.055 | -0.099 | 0.069 | -0.732 | -0.788 | 0.865 |
| 4. 4.61 | 0.348 | -0.432 | 0.553 | 0.389 | 0.199 | -0.029 | -0.048 | -0.542 | -0.579 | 0.683 |
| 18. 5.61 | -0.214 | 0.249 | -0.002 | -0.073 | -0.315 | 0.233 | 0.215 | -0.578 | -0.408 | 0.446 |
| 28. 6.61 | 0.458 | 0.401 | -0.061 | -0.336 | -0.042 | 0.562 | 0.184 | -0.556 | -0.672 | 0.667 |
| 14. 8.61 | 0.293 | 0.490 | -0.022 | -0.077 | -0.016 | 0.387 | 0.215 | -0.438 | -0.291 | 0.675 |
| 9.10.61 | 0.322 | 0.477 | -0.169 | -0.391 | 0.322 | 0.033 | 0.042 | -0.722 | -0.684 | 0.671 |
| 20.11.61 | 0.051 | 0.050 | -0.204 | -0.001 | -0.167 | -0.329 | 0.111 | 0.042 | -0.531 | 0.420 |
| 4. 1.62 | 0.444 | 0.112 | -0.126 | -0.115 | 0.018 | -0.079 | 0.326 | -0.468 | -0.518 | 0.176 |
| 13. 2.62 | -0.005 | 0.073 | 0.178 | 0.133 | -0.030 | 0.085 | 0.027 | -0.337 | -0.375 | 0.447 |
| 26. 3.62 | 0.303 | 0.057 | -0.017 | -0.097 | 0.077 | 0.122 | -0.209 | -0.636 | -0.102 | 0.471 |
| 7. 5.62 | -0.069 | 0.374 | -0.476 | -0.317 | -0.137 | 0.261 | 0.313 | -0.749 | -0.791 | 0.781 |
| 18. 6.22 | 0.128 | 0.151 | -0.002 | -0.120 | -0.004 | 0.319 | 0.029 | -0.812 | -0.648 | 0.649 |
| 22.10.62 | 0.217 | 0.048 | 0.019 | 0.090 | -0.137 | 0.342 | 0.148 | -0.482 | -0.544 | 0.408 |
| 3.12.62 | 0.675 | 0.706 | 0.563 | -0.567 | 0.620 | -0.476 | -0.653 | -0.814 | -0.840 | 0.853 |
| 21. 1.63 | 0.341 | 0.161 | -0.141 | -0.339 | -0.022 | -0.065 | -0.114 | -0.728 | -0.825 | 0.760 |
| 4. 3.63 | 0.019 | 0.161 | -0.468 | -0.122 | -0.380 | 0.114 | 0.037 | -0.479 | -0.690 | 0.417 |
| 16. 4.63 | 0.200 | 0.230 | -0.252 | -0.238 | 0.133 | 0.110 | -0.304 | -0.352 | -0.571 | 0.342 |
| 27. 5.63 | -0.019 | 0.058 | -0.086 | 0.016 | -0.387 | 0.146 | 0.289 | -0.338 | -0.685 | 0.415 |
| 8. 7.63 | -0.162 | -0.213 | 0.125 | 0.259 | -0.250 | 0.016 | 0.379 | -0.239 | -0.661 | -0.018 |
| 19. 8.63 | 0.196 | -0.099 | 0.114 | 0.044 | -0.397 | 0.170 | 0.336 | -0.615 | -0.441 | 0.573 |
| 7.10.63 | -0.035 | 0.230 | -0.043 | -0.305 | -0.372 | 0.356 | 0.402 | -0.268 | -0.567 | -0.055 |
| 11.11.63 | 0.049 | 0.216 | 0.072 | -0.221 | -0.232 | 0.406 | 0.402 | -0.523 | -0.490 | 0.438 |
| 16.12.63 | 0.288 | 0.218 | -0.076 | 0.086 | 0.266 | -0.161 | -0.215 | -0.507 | -0.696 | 0.320 |
| 16. 3.64 | 0.206 | 0.112 | -0.019 | -0.185 | 0.251 | 0.247 | 0.102 | -0.141 | -0.744 | 0.462 |
| 27. 4.64 | 0.624 | 0.177 | -0.087 | -0.213 | -0.142 | 0.097 | 0.139 | -0.740 | -0.650 | 0.388 |
| 11. 6.64 | 0.501 | 0.278 | -0.191 | -0.055 | 0.075 | 0.185 | 0.379 | -0.666 | -0.624 | 0.528 |
| 20. 7.64 | 0.365 | 0.104 | -0.073 | 0.040 | -0.528 | 0.443 | 0.628 | -0.550 | -0.741 | 0.526 |
| 31. 8.64 | -0.200 | 0.352 | -0.227 | -0.225 | -0.174 | 0.446 | 0.570 | -0.442 | -0.636 | 0.379 |
| 12.10.64 | -0.300 | 0.145 | -0.270 | -0.325 | -0.483 | 0.471 | 0.468 | -0.688 | -0.796 | 0.612 |
| 23.11.64 | -0.073 | 0.003 | -0.295 | -0.117 | -0.117 | -0.038 | 0.298 | -0.637 | -0.480 | 0.222 |

**Significatif à P = 0,05** $r > 0{,}400$

**Significatif à P = 0,01** $r > 0{,}512$

**Significatif à P = 0,001** $r > 0{,}625$

## - TABLEAU 6 -

Coefficient de corrélation moyen annuel

| Dates | N-P | N-K | N-Ca | N-Mg | P-K | P-Ca | P-Mg | K-Ca | K-Mg | Ca-Mg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1961 | 0,207 | 0,178 | 0,010 | -0,059 | -0,005 | 0,090 | 0,100 | -0,555 | -0,595 | 0,658 |
| 1962 | 0,264 | 0,239 | -0,157 | -0,154 | 0,074 | 0,080 | -0,010 | -0,646 | -0,589 | 0,585 |
| 1963 | 0,100 | 0,109 | -0,070 | -0,090 | -0,200 | 0,126 | 0,143 | -0,465 | -0,640 | 0,380 |
| 1964 | 0,119 | 0,169 | -0,168 | -0,159 | -0,139 | 0,276 | 0,386 | -0,574 | -0,678 | 0,454 |

——— Significatif à P = 0,05
═══ Significatif à P = 0,01
═══ Significatif à P = 0,001