

# Variations saisonnières des caractéristiques physico-chimiques d'un sol volcanique du Cameroun

par **J. GODEFROY** et **P. LOSOIS**

*Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer (I. F. A. C.).*

## VARIATIONS SAISONNIÈRES DES CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES D'UN SOL VOLCANIQUE DU CAMEROUN

Par J. GODEFROY et P. LOSOIS (I. F. A. C.).

*Fruits*, vol. 21, n° 10, nov. 1966, p. 535 à 542.

**RÉSUMÉ.** — L'essai décrit par les auteurs a été réalisé sur un jeune sol volcanique du Cameroun ; il met en évidence une baisse moyenne mensuelle de la teneur du sol en matière organique de l'ordre de 1,1 p. cent qui entraîne celle de l'azote des bases échangeables et de la capacité de fixation liées à la teneur en carbone.

Ces diminutions marquent plus ou moins l'effet des variations saisonnières ; néanmoins, il apparaît nécessaire pour suivre l'évolution d'un sol, de faire des prélèvements chaque année à une date bien déterminée.

Il est non moins indispensable de disposer d'un échantillon de référence qui permette de tester l'erreur expérimentale de l'analyse.

L'essai dont les résultats sont donnés dans cette étude a été réalisé à la Station de Nyombé (Cameroun occidental) en 1959-1960. Il était destiné à étudier les variations, selon la saison, des différents éléments du sol : humidité,  $pH$ , C total, N total,  $NH_3$ ,  $NO_3$ , bases échangeables : K, Ca, Mg, Na, capacité d'échange : T, coefficient de saturation : V,  $P_2O_5$  assimilable.

### Dispositif et conduite de l'essai.

L'essai a été construit suivant un dispositif en carré latin avec 16 traitements, ces traitements correspondent aux différentes dates de prélèvements de sol.

L'essai intéressait une surface de  $12,80 \times 12,80 \text{ m} = 163,84 \text{ m}^2$  avec  $16 \times 16 = 256$  parcelles de  $0,80 \times 0,80 \text{ m}$ , soit  $0,64 \text{ m}^2$ .

Chaque mois, pendant 16 mois, on a prélevé 16 échantillons de terre de 0 à 10 cm de profondeur. Chacun des 16 échantillons prélevés mensuellement dans les parcelles était constitué de 40 « carottes » de terre d'environ 75 g.

Le sol sur lequel a porté cet essai est un sol volcanique jeune, faiblement ferrallitique (classification

française), dont la mise en culture remonte à plusieurs dizaines d'années.

Le terrain, en non-culture depuis plusieurs années, était recouvert de graminées spontanées avec forte dominance de *sissongho* (*Pennisetum purpureum*) atteignant 3 à 4 m de hauteur. Il a été défriché en décembre 1958. La végétation a été enfouie superficiellement avec un appareil à disques puis on a effectué un sous-solage dans un seul sens tous les mètres, à 0,60-0,80 m de profondeur.

Après les travaux culturaux indiqués, cette parcelle a été semée en *Pueraria*. Il était prévu dans le protocole de l'essai que l'on maintiendrait un couvert de *Pueraria* de 20 à 30 cm, comme on le pratique en bananeraie. En fait, en terrain découvert, en voulant maintenir une couverture de *Pueraria* limitée, on a favorisé le développement des graminées.

Les analyses ont été effectuées au Laboratoire de l'ORSTOM à Dakar. Avec chaque série de 16 échantillons, l'analyse d'un échantillon de référence a été effectuée. L'étude des variations des résultats trouvés pour cet échantillon a permis de calculer l'erreur expérimentale due à l'analyse.

août 1959, et une autre beaucoup plus importante de novembre 1959 à février 1960.

— deux faibles remontées en période de pluies moyennes, mai-juin et août-septembre 1959, suivies d'une forte remontée en février-mars 1960, début des pluies. Aucune observation précise n'ayant été faite sur le stade de développement atteint par les plantes adventives aux différents mois, ni sur les périodes de fanaison qui correspondent à un enrichissement du sol en matière organique, il paraît difficile d'avancer une explication pour les variations saisonnières ainsi observées.

#### *Azote total.*

Les coefficients de variation des échantillons mensuels vont de 7 à 23 p. cent, la majorité d'entre eux se situant entre 12 et 15 p. cent. Le coefficient de variation d'analyse de l'échantillon de référence est de 4,7 p. cent ; celui obtenu pour une même série d'analyses avec 12 répétitions est de 2,3 p. cent.

Ceci montre que l'erreur d'analyse est plus élevée entre des séries d'analyses différentes que pour une même série.

Les résultats des analyses de sol ont été rectifiés en conséquence suivant les normes indiquées plus haut. Il en résulte une courbe des teneurs en azote (fig. 4) de même allure que celle des teneurs en carbone, ce qui est tout à fait normal, 90 % de N étant sous forme organique.

Cependant les 2 courbes diffèrent par 3 caractères :

— de mars à novembre, les teneurs en N oscillent autour d'une même valeur moyenne, alors que le taux de carbone malgré les oscillations saisonnières diminue régulièrement ;

— de novembre à février, la baisse des teneurs en N est relativement plus accusée que pour le carbone.

— Au total la teneur en N diminue moins rapidement que celle en C, passant de 3,81 en avril 1959 à 3,46 en avril 1960, soit une baisse mensuelle de 0,9 p. cent au lieu de 1,1 p. cent pour le carbone.

L'analyse statistique confirme ces observations.

Les équations de régression de l'azote et du carbone, en fonction de la durée de l'essai, diffèrent peu l'une de l'autre :

$$\begin{aligned} \text{p. cent carbone} &= 3,74 - 0,034 x \\ \text{p. mille azote} &= 3,96 - 0,031 x \end{aligned}$$

mais la corrélation avec la durée de l'essai est moins étroite pour l'azote que pour le carbone.

$$r = 0,62 \text{ au lieu de } 0,72.$$

La corrélation entre N et C (fig. 5) est très bonne :

$$r = 0,80.$$

#### *Rapport C/N.*

L'évolution dans le temps du rapport C/N (fig. 6) rend plus évidente encore la différence dans l'évolution des deux courbes :

— chute du rapport C/N d'avril à septembre 1959, C diminuant relativement plus que N.

— remontée du rapport C/N de décembre à mars consécutive à la baisse brutale du taux d'azote entre décembre et janvier.

Les limites entre lesquelles évolue ce rapport, de 10 à 8,8, indiquent une vitesse de minéralisation intense ; cependant il est remarquable que les taux de 9,9 et 10,1 du début de l'essai ne sont plus jamais atteints par la suite ; et sur la figure 7 les taux de carbone correspondants, apparemment élevés, pourraient trouver leur explication dans le compte rendu de l'essai :

« Le terrain a été défriché en décembre 1958, la végétation a été enfouie superficiellement avec un appareil à disques ; non décomposée pendant la saison sèche elle se serait retrouvée 3 mois plus tard à l'analyse chimique.

De fait, si on élimine les deux premiers prélèvements, le coefficient de corrélation entre C et N passe de 0,80 à 0,89.

#### *Azote minéral.*

Nous n'avons pas calculé les coefficients de variation des échantillons mensuels, mais l'étude des résultats montre des variations extrêmement importantes entre 2 échantillons voisins. Elles sont couramment de l'ordre de 1 à 10 (valeur relative). Cette grande hétérogénéité s'explique par le fait que l'azote minéral, soit sous forme  $\text{NH}_4$ , soit sous forme  $\text{NO}_3$ , est directement lié à la microflore du sol et, par conséquent, soumis à de très larges fluctuations.

Il y a des variations très importantes d'un mois à l'autre :

$$\begin{aligned} \text{N sous forme } \text{NO}_3 &\text{ varie de } 1 \text{ à } 55 \text{ p. p. m.,} \\ \text{N sous forme } \text{NH}_4 &\text{ varie de } 0 \text{ à } 22 \text{ p. p. m.,} \end{aligned}$$

mais il est difficile de déterminer, d'après les résultats obtenus, un cycle saisonnier.

Il y a une certaine liaison avec la variation du rapport C/N, mais non avec la valeur absolue de ce rapport. Ainsi, les maxima de la courbe de N minéral

correspondent sensiblement aux maxima de la courbe de C/N, et il en est de même pour les minima. Il n'est cependant pas possible de mettre en évidence de corrélation simple.

### Complexe absorbant.

#### Capacité d'échange T.

Les valeurs du témoin ne sortant pas des limites de l'intervalle de confiance, aucun résultat d'analyse n'a été ajusté.

Les coefficients de variation établis mensuellement sur les 16 échantillons varient de 7 à 17 %, la valeur la plus fréquente étant de l'ordre de 10 %.

Le coefficient de variation d'analyse de l'échantillon de référence est de 7,2 p. cent : celui de l'erreur d'analyse pour une même série est du même ordre de grandeur.

La variation de T d'un mois à l'autre (fig. 8), est liée à celle du carbone ; il existe entre T et C une corrélation supérieure à celle entre T et N (fig. 9) :

$$r = 0,95 \text{ avec C contre } 0,80 \text{ avec N.}$$

Cependant, la décroissance de T, de mars à mai 1959, et de novembre 1959 à février 1960, est moins rapide que celle de C (fig. 7) ; d'où un coefficient de corrélation avec la durée de l'essai plus faible pour T que pour C :

$$r_T = 0,58 \text{ contre } r_C = 0,72.$$

#### Humification.

Bien que l'analyse des matières humiques n'ait pas été effectuée dans cet essai, on peut apprécier indirectement le degré d'humification et la nature des complexes humiques formés en étudiant la valeur de la capacité de fixation T, rapportée au p. cent de la matière organique, ou du carbone.

L'étude de la courbe de T/C (fig. 10) montre que T/C augmente pendant la durée de l'essai, alors que T et C diminuent. Autrement dit, si l'on admet que la granulométrie ne varie pas, ce qui est vraisemblable, pour une même quantité de C total, la capacité d'échange « relative » s'est élevée au cours des 16 mois de l'essai. On peut donc admettre que la qualité de la matière organique a changé et qu'il y a eu formation d'humus colloïdal.

Cette augmentation des matières humiques se fait par paliers ; elle est particulièrement importante pendant la saison sèche.

On peut penser que la formation d'humus est continue. A certaines périodes, la quantité d'humus qui se forme est égale à la quantité qui se détruit et on observe sur la courbe un palier (juin à novembre). En saison sèche (novembre à février) la destruction est ralentie, d'où l'augmentation du rapport T/C.

Si l'on étudie la régression de T/C par rapport à C (fig. 11), on observe une corrélation négative :  $r = -0,75$ .

#### Bases échangeables.

*Potassium échangeable* (fig. 12). C'est l'élément pour lequel les coefficients de variation des échantillons de sol sont les plus élevés : 18 à 35 p. cent, les valeurs les plus fréquentes étant de l'ordre de 25 p. cent.

Ceci nous montre la grande variabilité des teneurs d'un emplacement à un autre, et donc l'importance de l'échantillonnage pour l'étude de cet élément. Le coefficient de variation de l'échantillon de référence est par contre faible, 3,6 p. cent, et les valeurs trouvées restent comprises à l'intérieur des limites de l'intervalle de confiance déterminé par le laboratoire de Hann.

La teneur du sol en cet élément est en bonne corrélation avec celle du carbone (fig. 13),  $r = 0,72$ . On retrouve donc comme pour N et T une courbe de variations saisonnières et une diminution de teneur dans le temps identique à C (fig. 12). Mais, comme pour N, la corrélation avec le taux de carbone est sensiblement améliorée si on élimine les deux premiers prélèvements, ce qui semble confirmer que la matière organique enfouie en début d'essai est la cause des teneurs élevées en C de ces 2 premiers prélèvements.

Corrélation entre :

	Azote et Carbone	Potasse et Carbone
Tous prélèvements compris.	$r = 0,80$	$r = 0,72$
2 premiers prélèvements éliminés . . . . .	$r = 0,89$	$r = 0,82$

Il existe également une corrélation avec la capacité d'échange T, mais avec une dispersion des points plus importante (fig. 14).

La teneur en potassium est élevée en valeur absolue : les moyennes des 16 échantillons mensuels varient de 2 à 3,4 méq p. cent. La valeur relative par rapport à la somme des bases, S est également élevée :

$$K/S \text{ est de l'ordre de } 1/10.$$

La corrélation entre K et S est bonne,  $r = 0,78$  ; c'est aussi ce que traduit le diagramme triangulaire K — Ca — Mg (fig. 15).

**ESSAI BANANIER CAMEROUN**  
**VARIATIONS SAISONNIERES DES ELEMENTS DU SOL**

LEGENDE RELATIVE AUX FIGURES DE L'ESSAI

- △— Droites de régression.
- △ Point d'ordonnées (x moyenne et y moyenne).

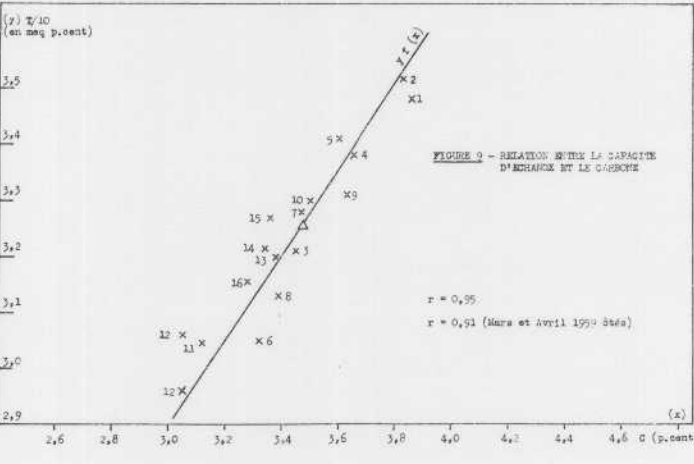
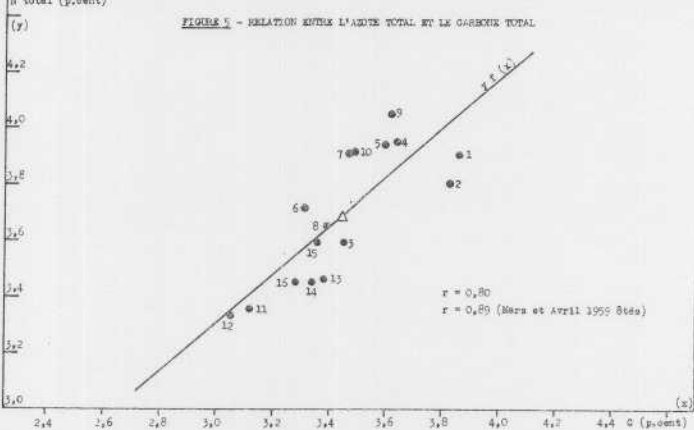
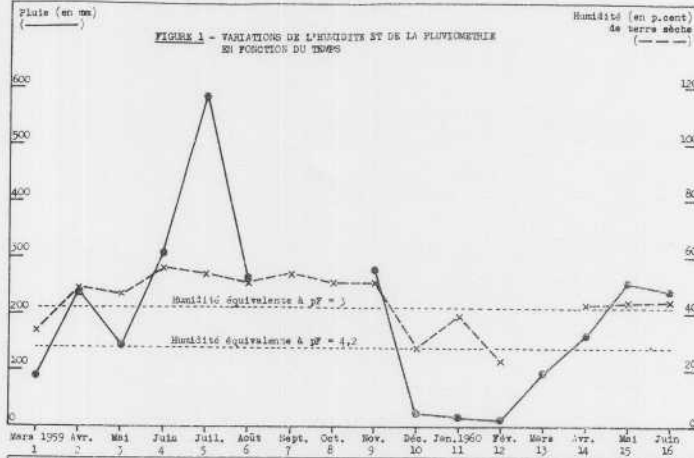
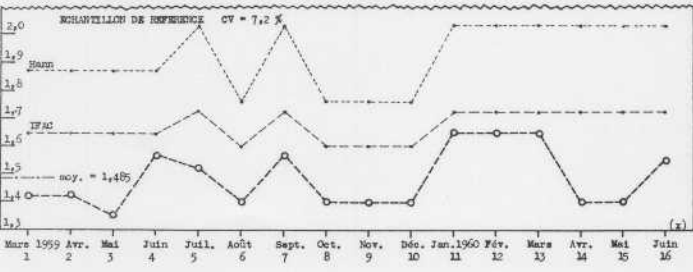
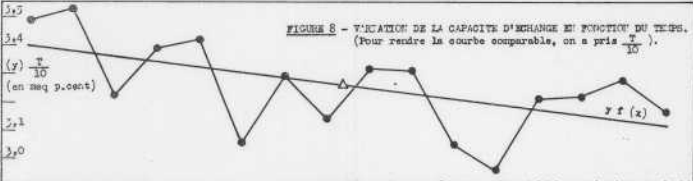
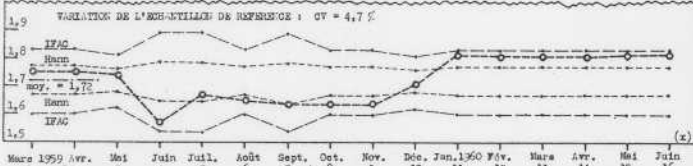
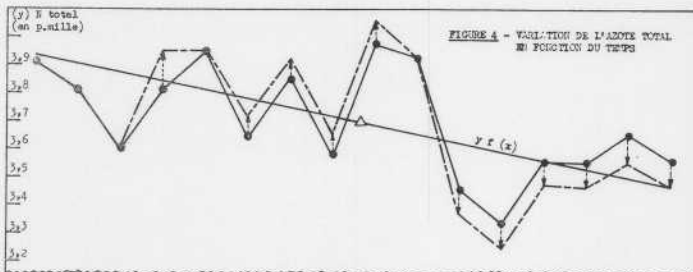
Intervalle de confiance :

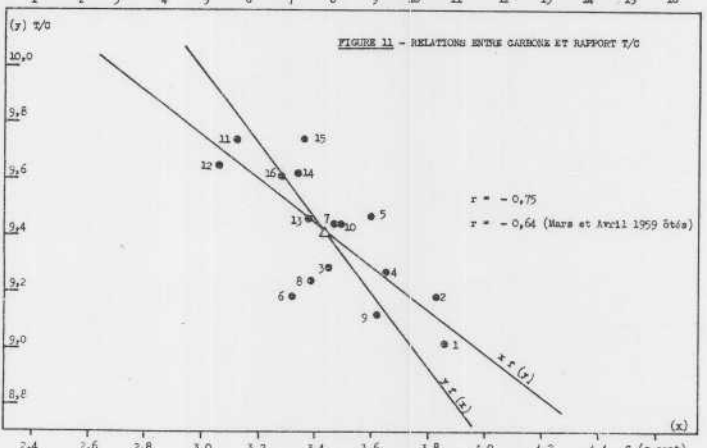
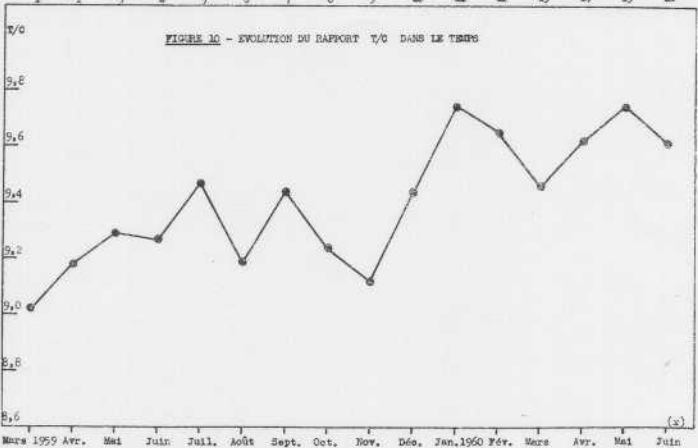
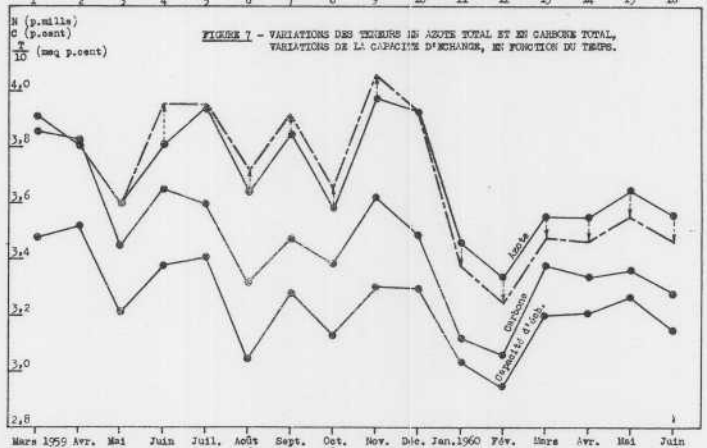
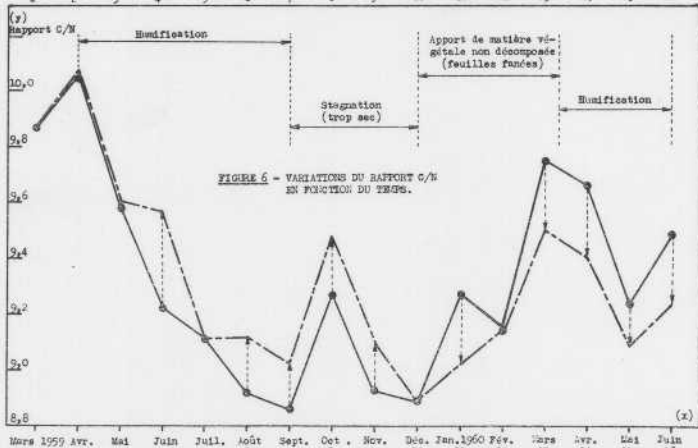
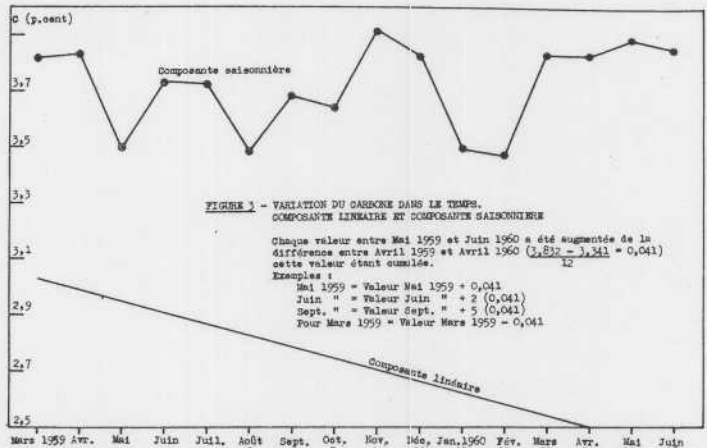
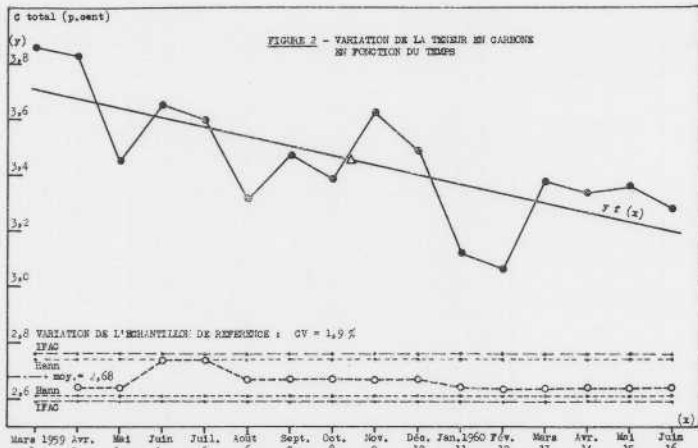
IPAG ——— Limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance, calculées sur l'ensemble de l'essai.

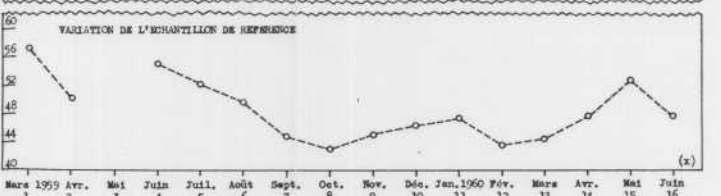
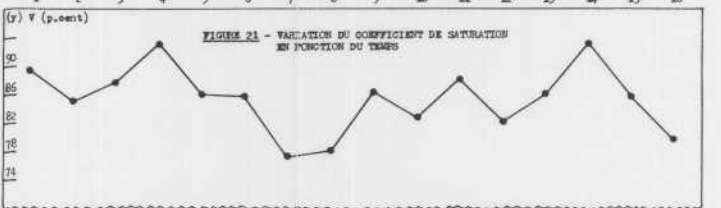
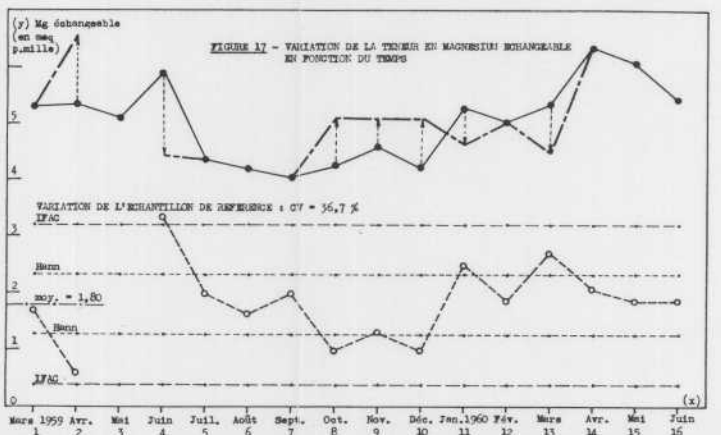
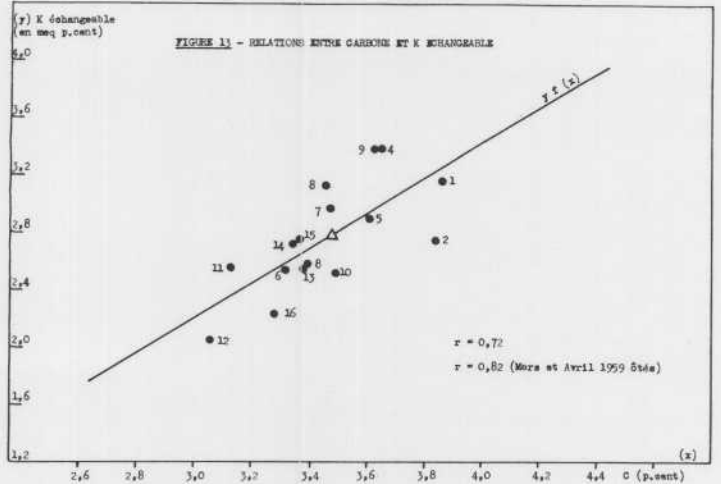
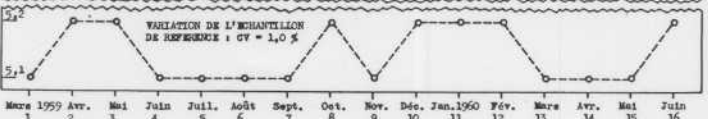
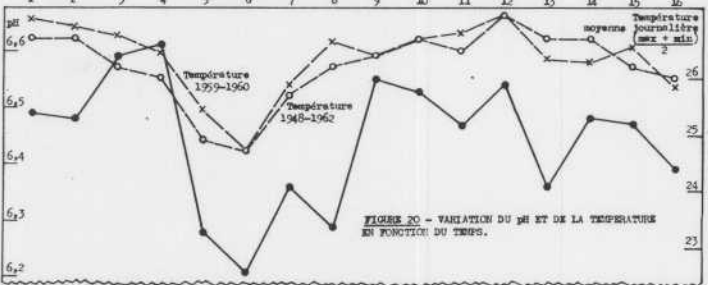
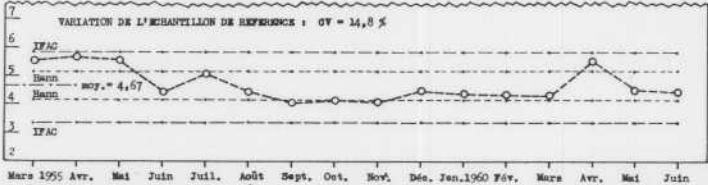
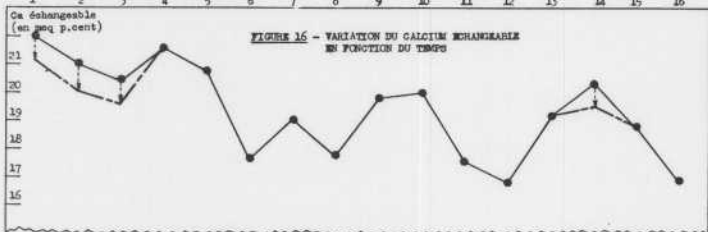
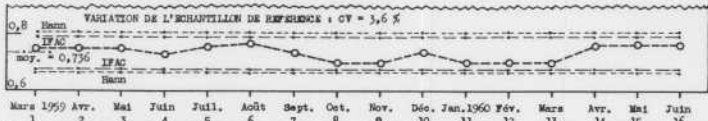
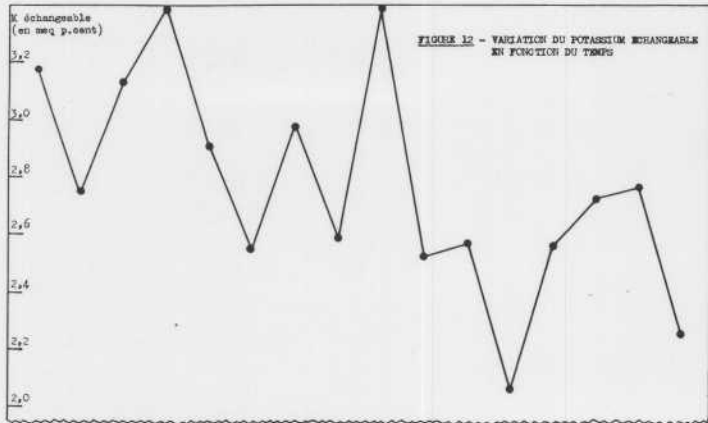
MOYENNE = 2,68 Valeur moyenne de l'échantillon de référence au cours de tout l'essai.

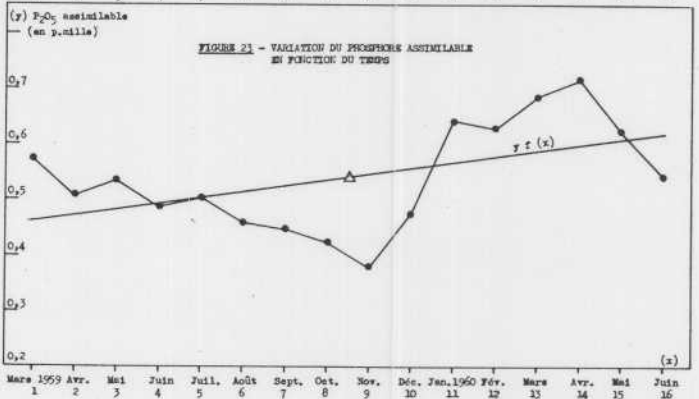
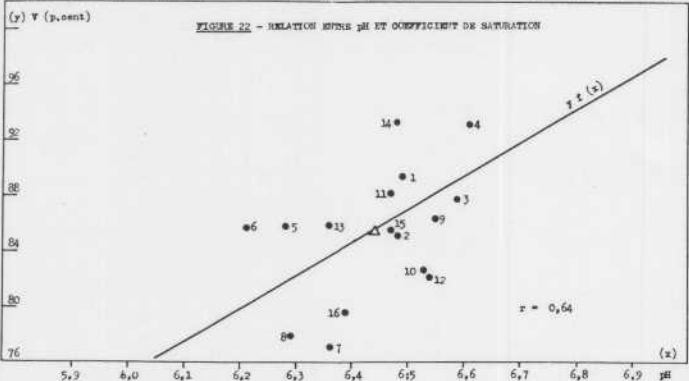
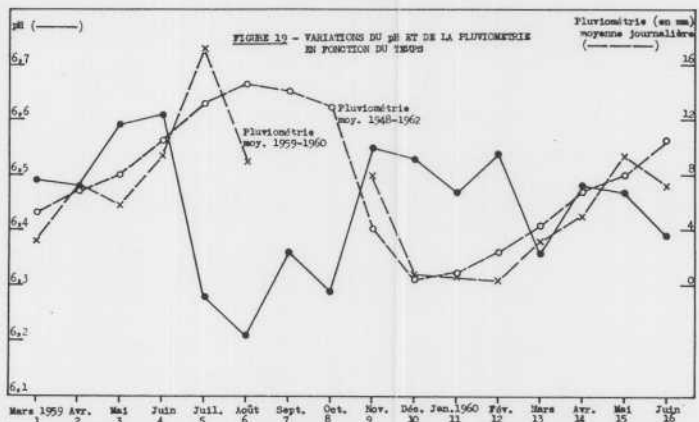
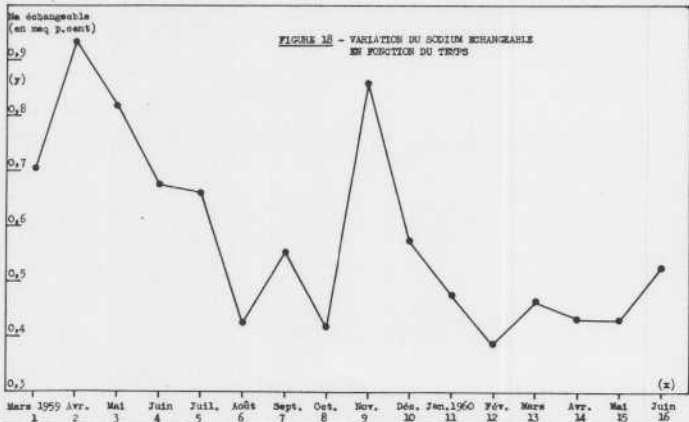
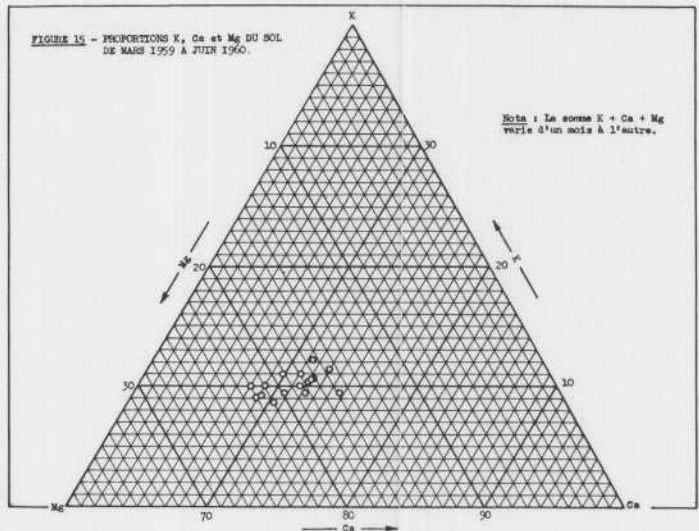
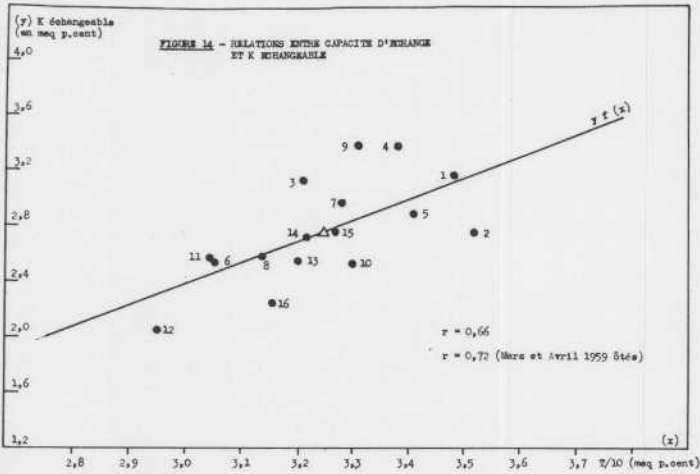
Hann ——— Limites supérieure et inférieure de l'intervalle de confiance, calculées selon les normes du laboratoire de Hann.

- Courbes représentant les valeurs non ajustées.
- — — Courbes représentant les valeurs ajustées en fonction de l'échantillon de référence.









*Calcium échangeable.* — Les coefficients de variation des prélèvements mensuels varient de 12 à 18 p. cent, celui des analyses de l'échantillon de référence est de 13 p. cent.

Les teneurs varient de 17 à 22 meq pour 100 g de sol, représentant environ 70 p. cent de la somme des bases. Cet élément suit la même courbe de variations saisonnières que la matière organique ; les conclusions sont donc identiques à ce qui se passe pour K (fig. 16). Le coefficient de corrélation entre K et Ca a pour valeur,  $r = 0,69$ .

*Magnésium échangeable.* — Les coefficients de variation mensuels sont de 13 à 46 p. cent. Ils sont les plus élevés pendant les 7 premiers mois : 29 à 46 p. cent, ce qui représente des variations de 3 à 9 meq p. cent pour des échantillons prélevés le même jour sur une surface de 1/60 ha (rappelons que chaque échantillon est constitué de 40 « carottes ») ; par la suite le coefficient de variation se maintient entre 15 et 20 p. cent.

Le coefficient de variation de l'échantillon de référence est également très élevé : 36 p. cent.

L'erreur expérimentale est trop élevée pour que l'on puisse attribuer une signification à la variation de la courbe (fig. 17), d'autant plus qu'il semble que celle-ci soit en liaison avec la variation de l'échantillon de référence ( $r = 0,43$ ).

La teneur moyenne des échantillons en Mg échangeable varie de 4 à 6 méq p. cent. Elle intervient pour 8 à 12 p. cent dans la somme des bases.

*Sodium échangeable.* — Les coefficients de variation des échantillonnages mensuels varient de 10 à 28 p. cent la moyenne se situant autour de 20 p. cent.

Les variations de l'échantillon de référence sont très importantes, du même ordre de grandeur que pour Mg, avec un coefficient de variation de 33 p. cent.

Les teneurs varient de 0,40 à 0,95 méq, représentant environ 2 p. cent de la somme des bases.

La courbe de variation suit les mêmes mouvements que celle du carbone, comme pour les autres éléments échangeables.

La corrélation avec C est bonne,  $r = 0,83$ .

*Somme des bases échangeables.* — Les coefficients de variation mensuels vont de 10 à 19 p. cent, la moyenne étant de 15 p. cent. Pour l'échantillon de référence, le coefficient de variation est de 10,5 p. cent.

La variation saisonnière est identique à celle de Ca, cet élément représentant les 2/3 de la somme des bases.

Cette somme varie de 24 à 31 méq. pour 100 gr de terre. Il y a une corrélation positive avec le carbone.

*Rapport K/Mg.* — Il est difficile d'interpréter la variation de ce rapport, étant donné l'importance de l'erreur sur Mg. Ce rapport varie de 0,4 à 0,7.

*Rapport K/Ca et K/T.* — Il semble se produire une certaine diminution de ces rapports au cours des 16 mois, mais il est peu probable que ces diminutions aient une répercussion sur la nutrition.

*Rapport Mg/Ca.* — La valeur de ce rapport est de l'ordre de 1/4 (variations de 0,23 à 0,31).

*pH.*

Les valeurs du pH mesurées mensuellement varient peu entre les 16 échantillons. Les coefficients de variations calculés par mois ( $n = 16$ ) varient de 1,1 à 2,7 p. cent et pour la totalité des échantillons ( $n = 256$ ) CV = 1,8 p. cent. Notons que de toutes les mesures effectuées, c'est le pH qui a le plus petit coefficient de variation.

Pour l'échantillon de référence : CV = 1 p. cent. Il existe une variation saisonnière du pH de l'ordre de 0,4 unité pH, cette variation est significative. Les pH bas correspondent à la saison des pluies (6,2 à 6,3), les pH les plus élevés à la saison sèche (6,5 à 6,6) (fig. 19 et 20).

En fait, la corrélation entre le pH et la pluviosité du mois précédant le prélèvement de l'échantillon est faible et négative,  $r = -0,41$ .

Assez paradoxalement, la corrélation entre le pH et la pluviosité moyenne sur 14 années est meilleure que celle entre le pH et la pluviosité de l'année de l'essai.  $r = -0,55$ . Cette constatation nous a fait penser que la variation saisonnière du pH était plus liée à la saison, c'est-à-dire à un ensemble de conditions climatiques, qu'à un seul des facteurs : la pluie. De même que pour la pluviosité, il y a une corrélation négative entre le pH et l'humidité du sol au moment du prélèvement, mais un certain nombre de points sont éloignés de la droite de régression :  $r = -0,36$ .

La corrélation entre le pH et la température moyenne mensuelle des années 1959-1960 est bonne :  $r = 0,66$  pour 14 observations. Quatre points sont éloignés de la droite de régression : ils représentent mai, juin et octobre 1959, mars 1960. Ces points correspondent aux inter-saisons et l'on retrouve ces mêmes points aberrants dans la corrélation « pH/pluviosité moyenne de 14 années ».

Nous avons également essayé de relier la variation du pH à l'humidité relative moyenne de l'atmosphère. Il existe une corrélation négative, mais la dispersion des points est très importante :  $r = -0,41$ .

Ce sont donc les facteurs « eau » et « température »



qui semblent avoir une action déterminante sur la variation saisonnière du pH. Ces différents facteurs sont, dans le cas précis de l'essai, reliés par l'équation  $pH = 1 + 0,015 H + 0,0191 T^0$ , où H désigne l'hygrométrie moyenne mensuelle à 13 heures, et  $T^0$  la température.

#### *Coefficient de saturation V.*

Entre la somme des bases échangeables et la capacité d'échange, la corrélation est bonne,  $r = 0,83$ .

L'allure générale de la *variation saisonnière* est très comparable à celle du pH, c'est-à-dire que le degré de saturation en bases est minimum pendant la saison des pluies (fig. 21). La corrélation entre V et pH est seulement moyenne :  $r = 0,64$  (fig. 22).

On peut donner deux explications à cela :

1) Le pH est proche de la neutralité (6,2 à 6,6) et le coefficient de saturation est élevé (77 à 93 p. cent) ; par conséquent les gammes de variation sont peu étendues.

2) Le type de sol où est réalisé l'essai est riche en aluminium échangeable, et il est vraisemblable que l'on obtiendrait une meilleure corrélation en incluant l'ion  $Al^{+++}$ , dans la somme des bases échangeables.

#### *Phosphore total.*

Le dosage de cet élément n'a été effectué que pour 3 mois : juin, juillet et septembre 1959. Les coefficients de variation pour ces mois sont de 32, 22 et 29 p. cent, et les valeurs moyennes en  $P_2O_5$  p. mille : 8,5-5,6-7,0. Ce sol est donc bien pourvu en phosphore.

#### *Phosphore assimilable.*

Les coefficients de variation vont de 14 à 30 p. cent, le plus grand nombre étant de l'ordre de 20 p. cent.

Il n'a pas été effectué d'analyse de l'échantillon de référence ; cela rend l'interprétation difficile.

La *courbe de variation* d'un mois à l'autre est très régulière. La teneur diminue régulièrement de mars à novembre ( $P_2O_5$  p. mille varie de 0,57 à 0,40) puis augmente rapidement jusqu'au mois d'avril (0,40 à 0,71). Une diminution s'amorce ensuite (fig. 23).

Nous avons cherché à relier la variation de cet élément avec un certain nombre de facteurs : climat, C, C/N, pH, sans pouvoir mettre en évidence de corrélation simple.

#### *Conclusions.*

Cet essai nous montre donc le rôle très important de la matière organique puisque de nombreux éléments : azote, bases échangeables et capacité de fixation, sont directement liés à la teneur en carbone.

Dans cet essai, le facteur essentiel est la diminution de la matière organique au cours des 16 mois et celle des éléments qui y sont liés. Cette diminution masque en partie les variations saisonnières. Les périodes de niveau maximum correspondent, pour la matière organique et les éléments qui en dépendent, aux saisons de transition : fin de la saison sèche, début de la saison des pluies.

Le pH et le coefficient de saturation ont une variation saisonnière très marquée : le minimum est en saison des pluies (juillet-août-septembre), le maximum est en saison sèche (novembre à février). Les variations se font brutalement en un mois.

Les valeurs des coefficients de variation ne sont pas liées à la saison.

Cet essai montre qu'il est indispensable, si l'on veut suivre l'évolution d'un sol, de faire des prélèvements chaque année à une date déterminée, afin de pouvoir dissocier l'influence de la « durée » de l'influence « saisonnière ».

Les coefficients de variation qui expriment l'hétérogénéité entre les échantillons prélevés le même jour à quelques mètres de distance les uns des autres ne sont pas du même ordre de grandeur pour tous les éléments. Pratiquement, on est obligé de déterminer le nombre de prélèvements élémentaires à effectuer pour constituer un échantillon, en considérant l'élément pour lequel le coefficient de variation est le plus élevé, c'est-à-dire pour le potassium.

Il est indispensable de disposer d'au moins 1 échantillon de référence qui permette d'apprécier la valeur de l'erreur expérimentale de l'analyse, et de choisir cet échantillon assez identique à ceux que l'on analyse.

