

République Française
Nouvelle-Calédonie
et Dépendances

Commission Scientifique 4
"Sciences du Monde Végétal"

DIRECTION
DU DEVELOPPEMENT
DE L'ECONOMIE RURALE
(DIDER)

INSTITUT FRANCAIS
DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DEVELOPPEMENT
EN COOPERATION
(ORSTOM)

SECTION RECHERCHE

LABORATOIRE DE PÉDOLOGIE

B.DENIS

**ÉTUDE DE LA FERTILISATION
NITRO-PHOSPHO-POTASSIQUE DU MAÏS SUR
VERTISOL ET SUR SOL PEU ÉVOLUÉ D'APPORT
ET DE SES CONSÉQUENCES SUR L'ÉVOLUTION
DE LEURS CARACTÉRISTIQUES
PHYSIQUES ET CHIMIQUES**

III

EXPÉRIMENTATION
SUR VERTISOL

3A
(TEXTE)

Etude de l'influence des facteurs contrôlés sur certaines caractéristiques
physiques et chimiques du sol au cours du second cycle cultural.

Etude de l'évolution des niveaux de ces caractéristiques au cours de ce
deuxième cycle - Comparaison avec les niveaux du premier

SOMMAIRE.

Avertissement

Documents de référence antérieurs

Résumé détaillé

1) Objectifs du rapport

2) Etude de l'influence des facteurs contrôlés sur certaines caractéristiques physiques et chimiques du sol

2.1. Statut du sol au début du cycle

2.2. Résultats fournis par les analyses de variance en fin de cycle

2.3. Conclusions.

3) Etude de l'évolution des niveaux des caractéristiques étudiées.

3.1. Résultats concernant le début du cycle

3.2. Résultats concernant la fin du cycle

3.3. Conclusion

Avertissement.

Ce document est le troisième de la série concernant l'étude de la fertilisation nitro-phospho-potassique du maïs sur vertisol.

Celle-ci est, pour mémoire, l'une des deux études expérimentales dans le cadre de la convention particulière passée le 21 avril 1980 entre le Territoire de la Nouvelle-Calédonie et Dépendances et l'O.R.S.T.O.M. pour l'étude de la fertilisation nitro-phospho-potassique du maïs sur vertisol et sur sol peu évolué d'apport et de ses conséquences sur l'évolution de leurs caractéristiques physiques et chimiques.

Cette convention particulière s'inscrit elle-même dans le cadre plus large du Protocole Général passé entre le Territoire et l'ORSTOM pour l'étude de la fertilité naturelle et de l'évolution sous culture des sols de Nouvelle-Calédonie.

DOCUMENTS DE REFERENCE ANTERIEURS.Titre général des documents des trois séries :

Etude de la fertilisation nitro-phospho-potassique du maïs sur vertisol et sur sol peu évolué d'apport et de ses conséquences sur l'évolution de leurs caractéristiques physiques et chimiques.

SERIE I - INFORMATIONS GENERALES.

- 1 - P. MAZARD, R. ARRIGHI, B. DENIS, B. BONZON, V. CANTIE, A. BOURGEOIS-DUCOURNAU.
Août 1980 - Cadre général de l'étude. Dispositifs expérimentaux. Modalités de présentation des résultats.
- 2 - B. BONZON, A. BOURGEOIS-DUCOURNAU, B. DENIS - Juin 1981 - Relations générales entre les caractéristiques étudiées. Intérêt et modalité de leur mise en évidence et de leur utilisation.
- 3 - B. DENIS - Novembre 1983 - Réflexion sur la méthodologie à suivre pour mettre en évidence l'action des facteurs contrôlés et représenter graphiquement les différences éventuellement observées.

SERIE II - EXPERIMENTATION SUR SOL PEU EVOLUE D'APPORT.

- 1 - P. MAZARD, R. ARRIGHI, B. DENIS, B. BONZON, V. CANTIE, A. BOURGEOIS-DUCOURNAU.
Août 1980 - Conditions d'installation du premier cycle. Peuplement, croissance en hauteur et rendements. Niveaux des principales caractéristiques physiques et chimiques.
- 2 - P. MAZARD, R. ARRIGHI, B. DENIS, B. BONZON, V. CANTIE, A. BOURGEOIS-DUCOURNAU, J.P. SAMPOUX - Décembre 1981 - Test de l'homogénéité initiale. Relations internes du système sol-maïs. Premiers résultats.
- 3 - P. MAZARD, R. ARRIGHI, B. BONZON, A. BOURGEOIS-DUCOURNAU, B. DENIS. Septembre 1980. Conditions d'installation du second cycle. Premières observations sur le peuplement et la croissance en hauteur.
- 4 - B. DENIS - Décembre 1983 - Etude de l'influence des facteurs contrôlés sur certaines caractéristiques physiques et chimiques du sol au cours du second cycle cultural. Etude de l'évolution de leurs niveaux au cours des deux premières années de culture.

- 5 - B. DENIS, B. BONZON - Décembre 1983 - Rapport Annexe. Résultats complets des analyses de variance réalisées sur les données brutes des paramètres du début et de la fin du second cycle cultural (premier cycle fertilisé).
- 6A/6B - B.DENIS - Octobre 1984 - Etude de l'influence des facteurs contrôlés sur certaines caractéristiques physiques et chimiques du sol au cours du troisième cycle cultural.
Etude de l'évolution des niveaux de ces caractéristiques au cours de ce troisième cycle. Comparaison avec les niveaux du second cycle.
- 7 - B. DENIS, B. BONZON - Octobre 1984 - Rapport Annexe. Résultats complets des analyses de variance réalisées sur les données brutes des paramètres du début et de la fin du troisième cycle cultural.

SERIE III - EXPERIMENTATION SUR VERTISOL.

- 1 - B. DENIS - Novembre 1983 - Niveaux des principales caractéristiques physiques et chimiques du sol. Leur évolution au cours du premier cycle cultural.
- 2 - B. DENIS, B. BONZON - Novembre 1983 - Rapport Annexe - Résultats complets des analyses de variance réalisées sur les données brutes des paramètres du début et de la fin du premier cycle cultural.

RESUME.

L'étude de l'influence des facteurs contrôlés et de l'évolution des caractéristiques physiques et chimiques du sol au cours de ce deuxième cycle de culture, premier cycle fertilisé, a permis de faire apparaître un certain nombre d'effets de l'azote, du phosphore et de la potasse et de mettre en évidence des modifications importantes des teneurs et des rapports suivis depuis le début de l'expérimentation.

Les effets "blocs" observés sur les différences entre 2 périodes successives tant pendant l'intercycle (81A-80B) qu'en cours du cycle de culture précédent (80B-80A) sont concordants : les valeurs calculées du test "F" de Snedecor (qui permet de tester si l'effet est significatif ou non) sont presque toutes inférieures à la valeur théorique minimale admise (celle au seuil de signification 5 %). Ceci signifie qu'il n'y a aucune dominante d'un bloc par rapport à l'autre et que probablement les travaux du sol et la mise en place d'une plante de couverture ont agi de façon similaire sur l'ensemble des 54 parcelles. Comme les fertilisations ne modifient pas cette relation entre les 2 séries de 27 parcelles, cela signifie que l'on a gardé l'hétérogénéité mise en évidence en début d'essai et qu'on continue à la prendre en compte, donc à la "dominer", à l'aide des 2 blocs.

Les modifications dues aux autres facteurs contrôlés (N, P, K) ont été relativement peu nombreuses et provoquées essentiellement par les apports de potasse (7 cas) et à un degré moindre par le phosphore (2 cas). Chaque facteur agit surtout sur les caractéristiques qui lui sont directement liées (la potasse sur le potassium échangeable, KE, et les rapports où cette caractéristique entre en jeu comme magnésium échangeable/potassium échangeable, MGE/KE ; ou le phosphore sur le phosphore assimilable Truog, PAT). Il est donc relativement aisé de comprendre et d'expliquer ces actions, contrairement à ce que l'on a observé sur le sol peu évolué d'apport (cf. rapport II 6 A, II 6 B).

L'évolution des niveaux des caractéristiques physiques et chimiques est plus ou moins importante selon la période considérée. Ainsi au cours de l'intercycle (80B/81A) seul un petit nombre de caractéristiques ont vu leur moyenne modifiée significativement sous l'action des travaux du sol et de l'enfouissement des cannes de maïs. L'azote total (NT) diminue significativement (seul 1%) ce qui entraîne logiquement une augmentation du rapport CT/NT ; mais les variations enregistrées ne devraient pas poser des problèmes trop importants pour la croissance de la plante-test au cours du second cycle ; les mêmes conclusions peuvent s'appliquer aux variations de l'acidité au chlorure de potassium (PHK).

Par contre la baisse du potassium échangeable (KE) et les augmentations consécutives de tous les rapports dans lesquels les valeurs de cette caractéristique interviennent peuvent être qualifiées d'importantes; elles varient autour de 16 % pour la première et de 20 à 24 % pour les autres.

Par contre au cours du cycle cultural proprement dit (81B-81A), les variations des moyennes générales ou des différents traitements de l'ensemble des caractéristiques, de base ou dérivées, se sont révélées importantes dans l'ensemble. On a pu observer des faits assez nets. Ainsi a été noté :

* que le facteur "Azote" agit effectivement peu sur le sol ; seuls le taux de carbone total (CT) et la densité apparente (DA) (et par conséquence la porosité totale, PoT), voient leurs niveaux modifiés. L'azote agit beaucoup plus efficacement et significativement sur les caractéristiques de la plante.

** que le facteur "phosphore" agit le plus souvent par apport et à la dose la plus élevée. Sont concernés le carbone total (CT), le phosphore assimilable Truog (PAT), le potassium échangeable (KE) et les variables dérivées où KE intervient.

*** qu'enfin le facteur "Potasse" agit lui aussi par apport ; généralement l'action est de plus en plus forte lorsque la dose de fertilisant croit. Sont concernées les acidités, la porosité totale, le potassium échangeable et les rapports MGE/KE, CAE/KE, (MGE + CAE)/KE. Signalons que cette action très efficace se retrouve aussi bien lorsqu'on considère les moyennes des parcelles recevant un traitement simple (N,P,K) ou élémentaires ($N_x P_y K_z$).

Finalement, comme on a pu le déduire du tableau 10, il s'avérerait utile, pour maintenir la fertilité naturelle du sol et même l'augmenter, d'apporter une fertilisation importante de phosphore et de potasse (160 et 200 unités par hectare), avec une fertilisation azotée qui dépendrait plus des réponses de la plante que de celles du sol.

I - OBJECTIFS DU RAPPORT.

Ce document concerne le second cycle de culture de l'étude de la fertilisation nitro-phospho-potassique du maïs sur vertisol qui a pu être mis en place en mai 1981 comme prévu par l'avenant n° 2 de la convention particulière passée entre le Territoire de la Nouvelle-Calédonie et l'ORSTOM.

Il rend compte des résultats concernant l'action des facteurs contrôlés que sont l'azote, le phosphore et le potasse sur les caractéristiques physiques et chimiques des 54 parcelles de l'essai. De plus, il font le point sur l'évolution des niveaux des paramètres étudiés au cours de ce cycle. Enfin il permet de mettre en parallèle les évolutions observées au cours des deux cycles écoulés, de les comparer et d'essayer d'expliquer et de comprendre leur importance et leur sens.

II - ETUDE DE L'INFLUENCE DES FACTEURS CONTROLES SUR CERTAINES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DU SOL.

Deux étapes successives permettront de faire le point sur les résultats obtenus par analyse ou par mesure de terrain et ayant trait aux caractéristiques physiques et chimiques du sol au cours du second cycle. Nous appliquerons la méthodologie définie dans le rapport I₃ rédigé dans le cadre de cette même convention ; c'est à dire que les analyses de variance qui permettront de mettre en évidence l'action des facteurs contrôlés seront effectuées sur les différences existantes entre deux instants donnés, en l'occurrence d'une part entre le début du second cycle et la fin du premier, d'autre part entre la fin et le début du second cycle (1981).

Pendant la période de l'intercycle, ont été effectués l'enfouissement des cannes sèches de maïs et l'installation d'un engrais vert durant 5 à 6 mois ; puis ont été réalisés les travaux de préparation du sol en vue du semis du second cycle. Les échantillons du début de ce cycle ont été prélevés juste avant l'apport de fertilisant fait avant le semis. A cet apport ont succédé des opérations culturales d'entretien de la surface du sol (desherbage, buttage) puis la récolte qui a précédé les prélèvements de la fin du cycle cultural.

2.1. Statut du sol au début du cycle.

Comme lors de l'étude de l'influence des facteurs contrôlés au cours de la première année, ne seront pris en compte dans l'analyse de variance que les effets "bloc". Etant donné l'absence de fertilisations, les effets qui apparaîtront comme découlant de l'action des éléments fertilisants que sont l'azote, le phosphore et la potasse seront des artefacts. De ce fait, dans les tableaux récapitulatifs 11 et 12 de l'annexe 1, ne doivent être pris en compte que les "F" de la première colonne (les blocs) ; en plus des valeurs du test se rapportant à la période étudiée, figurent celles relatives au premier cycle dit "d'homogénéité" initial dans le but de comparer deux périodes, l'une avec une culture de maïs, l'autre avec une seule plante de couverture (cf. tableau 12, annexe 1).

On constate qu'il y a seulement trois effets de facteurs contrôlés (artefacts), ce qui permet d'avancer l'hypothèse que, lorsque des effets de facteurs contrôlés seront constatés au cours des cycles fertilisés, on pourra les prendre en considération sans problème.

Si on examine le tableau 1 ci-après, on peut émettre les conclusions suivantes :

- le nombre d'effets "blocs" qui apparaissent après les analyses de variance sur les différences est tout aussi faible à la fin de l'intercycle (0) qu'au terme du cycle cultural (1). Il n'y a donc aucune "dominance" d'un bloc par rapport à un autre ; les travaux du sol et la mise en place d'une culture ou d'une plante de couverture ont agi d'une façon identique sur l'ensemble des 54 parcelles de l'essai. Ceci est confirmé par l'examen des analyses de variance faites sur les données brutes à la fin du 1er cycle cultural et au début du second (cf. tableau 1bis, colonnes 2 et 3) et leur comparaison avec les résultats donnés dans la colonne 1 du même tableau ; le nombre d'effets "bloc" est pratiquement le même (11 et 80A pour 10 en 80B et 81A) et ils affectent les mêmes caractéristiques du sol ; les valeurs du test "F" peuvent varier mais dans la majorité des cas les seuils de signification restent identiques.

- les "tendances" (effet bloc non statistiquement mis en évidence) ne vont pas dans le même sens selon les caractéristiques. (12 variables avec $B2 > B1$ et 3 avec $B1 > B2$ si on prend 80B-80A).

Ces "tendances" peuvent même être différentes si on considère deux périodes (colonnes 2 et 3 du tableau 1) ; la période de l'intercycle (81A-80B) entraîne une inversion et on aboutit à 11 "variables" présentant $B1 > B2$ et 5 avec $B2 > B1$. L'explication semble actuellement difficile. Est ce du à l'installation de la plante de couverture et (ou) à l'enfouissement des cannes de maïs ? Aucune hypothèse n'est à retenir ; il n'y en a pas à privilégier pour le moment.

TABLEAU 1 - EFFETS "BLOC" SUR DIFFERENCES.

périodes Paramètres	80B-80A			81A-80B			81B-81A		
	B ₁	F	B ₂	B ₁	F	B ₂	B ₁	F	B ₂
PHE	⊖		⊕	⊕		⊖	⊕		⊖
PHK	⊕		⊖	⊕		⊖	+(4,47)-		
CT	⊕		⊕	⊖		⊕	⊕		⊖
NT	-(4,94)+			⊕		⊖	⊖		⊕
PAT	⊖		⊕	⊖		⊕	-(4,73)+		
CAE	⊖		⊕	⊕		⊖	⊕		⊖
MGE	⊕		⊖	⊖		⊕	⊖		⊕
KE	⊖		⊕	⊕		⊖	⊖		⊕
NAE	⊖		⊕	⊕		⊖	⊕		⊖
CT/NT	⊖		⊕	⊕		⊖	⊕		⊖
SBE	⊖		⊕	⊖		⊕	⊖		⊕
MGE/CAE	⊖		⊕	⊕		⊖	⊖		⊕
MGE/KE	⊖		⊕	⊕		⊖	⊕		⊖
CAE/KE	⊖		⊕	⊕		⊖	⊕		⊖
(MGE+CAE)/KE	⊖		⊕	⊕		⊖	⊕		⊖
PAT/NT	⊕		⊖	⊖		⊕	⊖		⊕

- + actions des facteurs contrôlés

⊖ ⊕ tendance évolutive due aux facteurs contrôlés.

TABLEAU 1 bis - EFFET "BLOC" SUR DONNEES BRUTES.

Périodes Paramètres	80A			80B			81A			81B		
	B ₁	F	B ₂	B ₁	F	B ₂	B ₁	F	B ₂	B ₁	F	B ₂
PHE	⊕		⊖	⊕		⊖	⊖		⊕	⊕		⊖
PHK	⊖		⊕	⊕		⊖	⊖		⊕	⊕		⊖
CT	-	(102)	+	-	(44)	+	-	(36,3)	+	-	(67,1)	+
NT	-	(81)	+	-	(26)	+	-	(74)	+	-	(57,5)	+
PAT	⊕		⊖	⊕		⊖	⊖		⊕	-	(6,4)	+
CAE	+	(6,3)	-	+	(6,3)	-	+	(8,1)	-	+	(11,4)	-
MGE	-	(9,5)	+	-	(8,0)	+	-	(10,3)	+	-	(16,3)	+
KE	-	(20,5)	+	-	(12,5)	+	-	(12,4)	+	-	(28,0)	+
NAE	-	(13,1)	+	-	(10,6)	+	-	(13,1)	+	-	(23,8)	+
CT/NT	⊖		⊕	⊖		⊕	⊕		⊖	⊖		⊕
SBE	⊖		⊕	⊖		⊕	⊖		⊕	⊖		⊕
MGE/CAE	-	(10,1)	+	-	(7,9)	+	-	(10,2)	+	-	(15,4)	+
MGE/KE	+	(18,7)	-	+		-	+	(4,5)	-	+	(21,1)	-
CAE/KE	+	(19,2)	-	+	(8,9)	-	+	(10,4)	-	+	(26,9)	-
(MGE+CAE)/KE	+	(20,0)	-	+	(11,9)	-	+	(7,7)	-	+	(26,8)	-
PAT/NT	+	(12,0)	-	+	(7,3)	-	⊕		⊖	⊖		⊕

- + Actions des facteurs contrôlés

⊖ ⊕ Tendance évolutive due aux facteurs contrôlés.

2.2. Résultats fournis par les analyses de variance en fin de cycle.

L'apport des fertilisants a été réalisé après les prélèvements du début du second cycle, au moment du dernier travail de préparation qui précédait le semis. De ce fait, il est possible que les modifications du statut chimique, se conjuguant à celles provoquées par le travail de préparation, aient influencé les caractéristiques physiques et chimiques du sol. C'est la raison pour laquelle l'examen des données "sol" concernera non seulement l'effet "bloc" mais également les autres facteurs contrôlés que sont l'azote, le phosphore et la potasse. Les tableaux 21 et 22 de l'annexe 2 recapitulent les résultats obtenus en utilisant l'analyse de variance sur les paramètres suivis régulièrement à chaque cycle.

De même les graphiques des annexes 3, 4 et 5 permettent de mieux voir les effets des facteurs contrôlés et notamment leur sens (diminution ou augmentation) et les différences existantes entre les actions des divers paramètres, les tableaux de chiffres parlant moins que les figures.

Enfin en annexe 7 sont réunis les listings complets des analyses de variance ayant trait aux paramètres sur lesquels les facteurs contrôlés ont une action statistiquement significative.

Une remarque générale avant d'examiner chacune des caractéristiques, elle concerne les effets "blocs" constatés sur les analyses de variance effectuées sur les différences des valeurs entre la fin et le début du second cycle et sur les valeurs brutes en fin de cycle. L'examen des tableaux 1 et 1bis amène à émettre les mêmes conclusions que celles déduites en début de cycle ; c'est à dire que pratiquement aucun effet bloc n'apparaît sur les différences et que la nature et le nombre d'effets "bloc" mis en évidence au début de l'essai (80A) restent les mêmes deux ans après. Autrement dit la disposition des blocs telle qu'elle avait été choisie prend toujours en compte l'hétérogénéité du terrain, ce qui donne la possibilité de mettre plus facilement et plus efficacement en évidence l'action des facteurs contrôlés.

2.2.1. L'acidité mesurée à l'eau (PHE) subit l'influence modérée du facteur contrôlé "potasse" puisque le seuil de signification du test "F" est 5 %.

Les différences observées entre les moyennes des 3 traitements pris 2 à 2 sont significatives en ce qui concerne les niveaux K0 et K1 par rapport à K2. On a en effet :

$$\text{PHE(K0)} - \text{PHE(K1)} = 0.0889 \text{ (NS)}$$

$$\text{PHE(K0)} - \text{PHE(K2)} = 0.3056 \text{ (1 \%)}$$

$$\text{PHE(K1)} - \text{PHE(K2)} = 0.2167 \text{ (5 \%)}$$

Ces résultats montrent qu'il n'y a aucun effet statistiquement significatif entre un apport de 100 kg/ha (K1) et aucun apport de cet élément. Ceci permet de dire qu'après ce premier cycle fertilisé, un apport important de potasse (dose 2 = 200g/ha) n'entraîne qu'une faible modification de l'acidité du sol mesurée à l'eau alors que les deux autres traitements là diminuent. La figure 41 annexées 4 et 5 rend bien compte de cette disproportion d'influence de 3 doses.

La figure 46 indique que les valeurs absolues de l'acidité atteintes du fait des augmentations provoquées par les traitements K0 et K1 sont encore dans des limites admissible pour la plante-test.

Quant la figure 51, elle permet de découvrir que les valeurs actuelles de l'acidité, si elles s'étaient maintenues au niveau de celles du début de l'expérimentation avec le travail du sol et une culture mais aucun apport de fertilisant, deviennent assez nettement supérieures aux résultats des mesures de départ. Comme les niveaux atteints au début de 1981 étaient très voisins (102 %), les valeurs relatives de fin de cycle sont proportionnelles à celles de l'augmentation provoquées par les différents traitements.

2.2.2. L'acidité mesurée au chlorure de potassium (PHK) présente des modifications du même ordre que celles observées pour l'autre acidité mais il y a non seulement un effet "potasse" mais aussi un effet "bloc".

La comparaison des moyennes des blocs montre que l'évolution se poursuit selon la tendance mise en évidence pendant l'inter cycle précédent et à la fin du premier cycle (cf. tableau 1); le bloc 1 conserve une valeur moyenne plus élevée que celle de l'autre bloc. Cette constatation n'est pas explicable tant que l'on ne connaîtra pas la nature, l'intensité et le sens des liens entre ce paramètre et les autres caractéristiques. Mais son intérêt réside d'une part dans le fait qu'elle confirme la nécessité, explicitée dans le rapport I₃, de considérer les différences entre deux instants pour montrer l'action réelle des facteurs contrôlés (il suffit pour cela de mettre en parallèle les figures 31 et 32 ; l'effet bloc n'apparaît que sur les différences) ; d'autre part de se rendre compte si l'inégalité des blocs se confirme en restant dans le même sens au cours des autres cycles (ce qui semblerait logique) ou s'il y a des changements qu'il faudra alors tenter d'expliquer.

Les résultats du tableau ci-après montrent que les traitements K1 et K2, c'est à dire ceux qui apportent une fertilisation, ne sont pas significativement différents quant à leur effet ; par contre le fait de ne pas apporter de potasse entraîne une augmentation non négligeable des valeurs du pH

$$\text{PHK}(K0) - \text{PHK}(K1) = 0,0834 \text{ (5\%)}$$

$$\text{PHK}(K0) - \text{PHK}(K2) = 0,0889 \text{ (5\%)}$$

$$\text{PHK}(K1) - \text{PHK}(K2) = 0,0055 \text{ (NS)}$$

L'examen des figures 41, 46 et 51 des annexes 4 et 5 provoquent les mêmes remarques que pour PHE.

2.2.3. Le phosphore assimilable Truog subit lui aussi l'influence des facteurs contrôlés mais beaucoup plus que les autres caractéristiques étudiées. En effet on note un effet bloc, un effet 'phosphore' et un effet de l'interaction de 1er ordre "azote * potasse".

Effet bloc. Comme on le constate dans le tableau 1, l'effet "bloc" du cycle proprement dit avec bloc 2 > bloc 1 accentue la tendance observé tant au cours du cycle d'homogénéité (80B-80A) que du premier inter cycle (81A-80B) (significatif au seuil 5%). Les figures 31 et 32 de l'annexe 3 visualisent cet effet en ce qui concerne les différences mais aussi les valeurs absolues (teneurs en ppm) ; quant à la figure 33 elle permet de voir que les réserves assimilables du bloc 2 sont presque identiques à celles du début d'expérience contrairement à ce qui se passe dans le bloc 1 (60 % environ)

Effet du facteur phosphore. L'influence est importante puisque l'effet est significatif au seuil 0,1 %. L'étude des différences entre les moyennes des trois traitements autorise à dire que :

- le traitement P_2 a une action significativement différent des traitements P_0 et P_1 au seuil 0,1 % ;

- par contre le traitement P_1 n'est significativement différent du traitement P_0 qu'au seuil 5 % ;

$$\text{PAT}(P_2) - \text{PAT}(P_0) = 24,889 \text{ (0,1 \%)}$$

$$\text{PAT}(P_2) - \text{PAT}(P_1) = 15,222 \text{ (\# 0,1\%)}$$

$$\text{PAT}(P_1) - \text{PAT}(P_0) = 9,667 \text{ (5\%)}$$

$$\text{avec ppds au seuil } 5\% = 8,757$$

$$\text{ppds au seuil } 1\% = 11,776$$

$$\text{ppds au seuil } 0,1\% = 15,572$$

on peut donc en conclure que le niveau de fertilisation P_2 (160kg/ha) agit nettement sur l'augmentation des teneurs en phosphore assimilable Truog du sol par rapport à un apport moyen P_1 (80kg/ha) et à l'absence d'apport. De son côté le traitement moyen P_1 agit d'une façon significativement différente du traitement P_0 mais moins efficacement que l'apport le plus élevé P_2 .

Cette action du facteur phosphore semble logiquement s'expliquer même si des apports croissants de phosphore directement assimilable doivent amener un accroissement des exportations par les cultures. Une mise en parallèle des réserves du sol, des apports par fertilisations et des exportations (grains) et immobilisations temporaires (tiges et feuilles) devrait apporter des explications complémentaires.

L'analyse des graphiques des figures 42, 47 et 52 autorise d'une part à confirmer l'action très efficace du traitement P_2 d'autant plus que la moyenne des parcelles n'ayant pas reçu d'apport de fertilisants était, en début 81, légèrement supérieure à celle des parcelles recevant ensuite P_1 et P_2 ; d'autre part que les teneurs (valeurs absolues) augmentent nettement avec l'apport maximum P_2 ; enfin que l'augmentation relative provoquée par ce dernier est supérieure de 50 % à la teneur moyenne des parcelles en début d'expérimentation (figure 52). Cette dernière constatation amène à considérer que le traitement P_2 est le plus efficace pour le sol alors qu'un examen rapide de l'action de ce même facteur phosphore sur les composantes du rendement de la plante-test, à l'exception de la variable TPGR (teneur en phosphore des grains), se manifeste très significativement ("F" calculé >>> F théorique à 0,1 %) mais quel que soit l'apport ($P_1 = 80$ ou $P_2 = 160$ kg/ha) sans que l'on puisse différencier l'efficacité de l'une ou l'autre dose (renseignements déduits des résultats recueillis par B. BONZON, agronome de l'équipe).

Effet de l'interaction N * K.

La comparaison des moyennes des parcelles ayant reçu les différents traitements "N * K", comme cela est résumé dans le tableau ci-dessous, permet de dégager les informations suivantes :

Classement

PAT(N1K1) = 18,0000 PAT(NoK1) = - 0,3333
 PAT(NoKo) = 13,8333 PAT(NoK2) = - 2,1667
 PAT(N1K2) = 7,3333 PAT(N2K2) = - 2,1667
 PAT(N2K1) = 4,5000 PAT(N1Ko) = - 2,8333
 PAT(N2Ko) = 4,0000

Calcul des différences et signification

PAT(N1K1) - PAT(N1K0) = 20,8333 (5%)
 " - PAT(N2K2) = 20,1667 (5%)
 " - PAT(NOK2) = 20,1667 (5%)
 " - PAT(NOK1) = 18,3333 (5%)
 " - PAT(N2K0) = 13,5000 (NS)
 PAT(NoKo) - PAT(N1Ko) = 16,666 (#5%)
 " - PAT(N2K2) = 16,000 (NS)

Toutes les autres moyennes, à partir du N1K2, ne sont pas significativement différentes des suivantes.

La conclusion apparait clairement, à savoir que le seul traitement qui, bien qu'il ne soit pas significativement différent des 4 suivants directs, présente cependant le plus de différences significatives (4) est celui formé des doses moyennes en azote et potasse. (N1 * K1). Signalons que les facteurs contrôlés "azote" et "potasse" n'agissent pas en traitements simples. Il faudra suivre attentivement les influences de ces mêmes interactions de premier ordre au cours du cycle suivant et alors tenter de formuler une explication. Sur les caractéristiques "plantes", peu d'effet de cette interaction à l'exception de quelques hauteurs au vitesse de croissance et notamment pas sur les immobilisations ou exportations en phosphore.

Les figures 42, 47 et 52 confirment l'efficacité effective du traitement N1K1 que ce soit au niveau des différences (simple représentation graphique des valeurs du tableau précédent) mais aussi pour ce qui touche les teneurs (donc les réserves assimilables en valeurs absolues) et les niveaux atteints par rapport à ceux de départ (80A). La mise en parallèle des graphiques N1*K2 (3ème du classement) et N1*K1 évite tout commentaire explicatif.

2.2.4. Le potassium échangeable.

Cette caractéristique est influencée par le facteur contrôlé "potasse" ; cet effet intervient avec un seuil de signification 0,1%, ce qui signifie qu'il est très efficace. Dans le tableau ci-dessous sont rassemblés les calculs ayant trait aux moyennes des trois traitements :

	$KE(K2) - KE(K0) = 0,1800 (0,1\%)$
	$KE(K2) - KE(K1) = 0,1317 (0,1\%)$
	$KE(K1) - KE(K0) = 0,0483 (NS)$
<hr/>	
avec ppds à 5 %	= 0,0613
ppds à 1 %	= 0,0824
ppds à 0,1 %	= 0,1090

Il s'en déduit que le traitement le plus actif est celui qui amène la dose la plus forte c'est à dire K2 = 200 kg/ha.

En effet l'effet de ce traitement est très significativement différent de ceux des deux autres traitements qui entraînent, quant à eux, le même résultat. Ceci nous amène à conclure qu'il faut non seulement apporter une fertilisation potassique au sol mais également que cette dernière soit la plus élevée de celles actuellement appliquées. Ceci se voit sur les graphiques des figures 43, 48 et 53. En effet si les valeurs absolues (teneurs en potassium échangeable) maintiennent ou augmentent, quelque soit le traitement, et sont toutes supérieures à celles disponibles au début du cycle (fig. 48) en revanche seule la dose la plus forte (K2) permet d'augmenter la réserve de telle façon qu'on améliore celle disponible au début de l'essai (fig. 53) puisqu'on a 13 % de plus sur les parcelles ayant reçu ce traitement par rapport à 80A. Il est en effet logique non seulement de satisfaire les besoins des cultures mais aussi de conserver et même d'améliorer le statut initial du sol. Ce à quoi ne parvient pas la dose moyenne (100 kg/ha).

Notons que le facteur "potasse" n'agit sur aucune des variables "plantes" que ce soit les hauteurs, les vitesses de croissance ou les composantes du rendement (poids de grain, de matière sèche ; teneurs...etc...). Ces observations résultent de l'examen des analyses de variance et de la note technique rédigée en début 82 à l'issue des premières données acquises concernant la plante-test.

2.2.5. Les rapports faisant intervenir la variable KE.

Les rapports sur lesquels un facteur contrôlé, en l'occurrence la potasse, a un effet sont MGE/KE, CAE/KE et (MGE+CAE)/KE. Le seuil de signification est de 0,1% pour la première variable dérivée, de 1% pour les deux autres.

Cette constatation semble logique puisque la caractéristique "potassium échangeable" est celle sur laquelle le facteur "potasse" agit, le magnésium et le calcium ne subissant aucun effet du aux facteurs contrôlés.

Voyons maintenant si c'est le même traitement qui agit sur les données dérivées et la donnée de base. Prenons l'exemple des deux rapports simples MGE/KE et CAE/KE. Résumons dans le tableau ci-après les données à comparer.

MGE/KE = R1	CAE/KE = R2
R1(K2) - R1(K0) = - 64,616 (0,1%)	R2(K2) - R2(K0) = - 78,47 (0,1%)
R1(K2) - R1(K1) = - 41,39 (1 %)	R2(K2) - R2(K1) = - 48,72 (# 1%)
R1(K1) - R1(K0) = - 23,23 (NS)	R2(K1) - R2(K0) = - 29,75 (NS)
<u>avec</u>	<u>avec</u>
ppds au seuil 5% = 30,331	ppds au seuil 5% = 39,581
ppds au seuil 1% = 40,790	ppds au seuil 1% = 53,229
ppds au seuil 0,1% = 53,94	ppds au seuil 0,1% = 70,387

Il apparait, après examen, que le traitement K2 est toujours très significativement différent de K1 et K0, ces derniers ayant le même effet. Donc la fertilisation la plus forte entraîne une très importante diminution des trois rapports. Ce qui a pour but de rééquilibrer les rapports existants entre le potassium d'une part, le magnésium et (ou) le calcium d'autre part (cf. figures 43 et 44 des annexes 4 et 5). De nombreux auteurs ayant étudié ces problèmes en Afrique considèrent que des rapports MGE/KE compris entre 3 et 25 et (MGE+CAE)/KE inclus entre 12 et 24 sont satisfaisant pour nombre de cultures

notamment fruitières ou industrielles. Même si le maïs est une culture plus tolérante que celles auxquelles il est fait référence, nous sommes encore loin de ces valeurs, comme le montrent les graphiques des figures 47 et 48 (MGE/KE et CAE/KE, 81 et 94 dans le meilleur des cas c'est à dire avec K2 et (MGE+CAE)/KE = 175 avec le même traitement). Par contre les figures 53 et 54, qui schématisent les valeurs relatives de ces rapports à la fin du cycle montrent que, grâce à la fertilisation K2 (200kg/ha), on passe en dessous des valeurs de départ (déjà fortement déséquilibrés) en perdant 11 à 15 %.

Une conclusion partielle s'impose quant à l'action de l'apport de fertilisation potassique : elle est nécessaire pour l'équilibre du sol même si, apparemment, elle ne "marque" pas sur les caractéristiques de la plante-test.

2.2.6. Rapport phosphore/azote (PAT/NT)

Les valeurs de cette caractéristique varient sous l'influence des facteurs contrôlés et notamment du facteur "phosphore". Les résultats du tableau ci-après permettent de conclure que chacun des trois traitements entraîne des variations significativement différentes les unes des autres, et l'on peut écrire l'inégalité suivante : Effet P2 > Effet P1 > Effet P0.

PAT/NT(P ₂) - PAT/NT (P ₀) = 0.0237 (0,1%)	
PAT/NT(P ₂) - PAT/NT (P ₁) = 0.0136 (1%)	
PAT/NT(P ₁) - PAT/NT (P ₀) = 0.0101 (5%)	
avec ppds à	5% = 0.0089
"	à 1% = 0.0121
"	à 0,1% = 0.0159

Comme les teneurs en azote totale (NT) ne subissent aucune modification, mais que par contre les réserves en phosphore assimilable (PAT) subissent des augmentations dans le même sens et avec la même intensité, il apparaît comme très probable que ce sont les variations du seul numérateur qui entraînent des modifications du rapport.

Les graphiques des figures 45, 50 et 55 des annexes 4 et 5 rendent compte d'une part de l'influence prépondérante et positive du traitement P2 (160 kg/ha) mais aussi des valeurs absolues de ces rapports, (il y a une multiplication par 100 des ordonnées pour faciliter le tracé ; ainsi $2,63 = 0.0263$) ; et les valeurs relatives de ces derniers en fin de deuxième cycle au regard de ce que l'on avait en début d'expérimentation.

A ce propos on remarque que, si le traitement P2 a permis de dépasser largement le niveau de 80A et donc de réduire le déséquilibre Phosphore Assimilable/Azote total, par contre nous sommes encore loin d'avoir obtenu des chiffres considérés comme équilibrés ($1/20 > \frac{PAT}{NT} < 1/10$) puisque la valeur moyenne la plus élevée se situe entre $1/85$ et $1/40$, elle est encore 2 à 4 fois trop faible. A suivre au cours des cycles suivants.

2.2.7. Premières conclusions.

Pendant l'intercycle le nombre des effets "bloc", qui sont les seuls à prendre en compte, est tout aussi faible à la fin de l'intercycle (zéro) qu'au terme du cycle cultural précédent (1). Ceci est confirmé par le fait que le nombre d'effets bloc sur les données brutes est identique et affectent les mêmes données au cours des deux périodes considérées. Ceci signifie qu'il n'y a aucune dominante d'un bloc par rapport à un autre et que probablement les travaux du sol et la mise en place de la plante de couverture ont agi d'une façon similaire sur l'ensemble des 54 parcelles de l'essai. On a donc gardé l'hétérogénéité mise en lumière en début d'essai et que l'on continue à prendre en compte à l'aide des 2 blocs. Ceci se confirme au cours du cycle fertilisé (81B-81A).

Les influences des facteurs contrôlés N, P et K ont été relativement peu nombreuses et provoquées essentiellement par les apports de potasse (7), à un moindre degré de phosphore (2) et accessoirement d'azote (1). Les degrés de signification sont variables ; ils sont élevés (0,1% ou 1%) lorsque le facteur contrôlé influence le paramètre similaire (K sur KE par exemple) ; ils baissent à 5% quand les variables considérées ne sont pas directement liées aux facteurs contrôlés (K sur PHE par exemple).

Ainsi la potasse influence les deux acidités (PHE, PHK), le phosphore assimilable Truog (association avec l'azote), le potassium échangeable et les trois données dérivées que sont MGE/KE, GAE/KE, (MGE+CAE)/KE. Le phosphore agit sur le phosphore assimilable Truog (PAT) et le rapport PAT/NT; quand à l'azote elle n'agit qu'en association (N*K) sur le PAT.

Les effets constatés s'expliquent assez aisément puisque chaque facteur contrôlé agit surtout lorsque le paramètre "équivalent" est concerné. L'effet de la potasse sur les acidités a déjà été constaté et s'expliquerait pas des liaisons linéaires significatives qui existent à l'intérieur du vertisol entre ces paramètres.

Il sera intéressant au cours des autres cycles, de suivre plus particulièrement l'action de la potasse et du phosphore sur les données que nous venons d'étudier.

III - ÉTUDE DE L'ÉVOLUTION DES NIVEAUX DES CARACTÉRISTIQUES SUIVIES.

Nous venons d'apercevoir les premières conséquences de l'action des facteurs contrôlés sur les caractéristiques physiques et chimiques de ce vertisol. Elle peut être importante comme ce que l'on constate en ce qui concerne les facteurs "phosphore" et "potasse" sur le phosphore assimilable Truog d'une part, sur le potassium échangeable et différents rapports de cations d'autre part. Elle est faible sur les acidités (facteur potasse) et inexistante sur les autres caractéristiques.

Il s'agit maintenant de comparer les valeurs prises par les différents paramètres au début puis à la fin du 2ème cycle avec les valeurs de ces mêmes paramètres au cours du cycle précédent. Ceci devrait permettre de mesurer l'action d'une culture sur les éventuelles variations d'une part globalement (travail du sol + apport de fertilisants), d'autre part par traitement.

Nous séparerons l'étude concernant les données au début de cycle de celle de la fin du cycle ; en effet nous ne prendrons en compte que les variations de la moyenne générale dans le premier cas, alors que nous retiendrons les variations des moyennes au niveau des différentes combinaisons de la fertilisation dans le second cas. Cette dernière n'est intervenue qu'après les prélèvements du début de cycle, juste avant le semis.

3.1. Résultats observés au début du second cycle.

Les tableaux 2, 3 et 4 rassemblent les principaux résultats des calculs effectués pour comparer entre elles les moyennes générales des valeurs absolues des paramètres du début et de la fin du premier cycle ainsi que celles du début de la seconde années de culture. On pourra y trouver les valeurs moyennes brutes ainsi que les valeurs du test "t" calculées et théoriques avec le degré de signification statistique de la différence existant entre les deux données comparées.

On trouvera dans l'annexe 8 une série de graphiques qui illustrent ce que l'on démontre par des chiffres mais qui permettent aussi de mieux se rendre compte du sens et de l'importance des variations que ces mêmes chiffres ne mettent pas toujours en évidence par leur sécheresse.

3.1.1. carbone, azote, phosphore

Les teneurs moyennes en carbone total ne diminuent pas significativement pendant l'intercycle. Par contre celles de l'azote totale, qui avait déjà chuté au cours du cycle précédent mais d'un pourcentage relativement faible, continuent à diminuer au cours de l'intercycle. Ceci pourrait s'expliquer par une consommation de la microflore, lors de la décomposition des cannes de maïs enfouies à la fin du premier cycle. Les teneurs étant déjà relativement faibles, notamment si on les compare à celles du sol peu évolué d'apport de Bourail, elles vont passer sous la barre des 1 ‰. Il serait, semble-t-il, indispensable d'apporter une fumure organique importante qui permettrait d'améliorer la structure du sol en même temps qu'elle constituerait un réservoir d'azote minéralisable.

La moyenne générale du phosphore assimilable Truog, quant à elle, augmente légèrement mais sans que cela soit significatif (9,35 à 10,22 ppm). Le niveau déjà très bas de la fraction du phosphore total considérée comme utilisable immédiatement se maintient et laisse prévoir la nécessité d'un apport important de fertilisation phosphatée surtout lorsqu'on fait référence aux conclusions agronomiques concernant les rendements après le premier cycle dit d'homogénéité (3,5 T/ha avec 20,3 ppm de P.A.T.).

Le rapport carbone total/Azote total (CT/NT) augmente significativement ; cela s'explique logiquement par le fait que NT diminue alors que CT reste pratiquement constant. Par contre le rapport PAT/NT, s'il augmente légèrement au cours de cet intercycle, ne le fait pas d'une façon significative ; les diminutions des taux d'azote total ne sont pas suffisants pour entraîner une variation suffisamment élevée du rapport ; de toutes façons les changements des valeurs de cette caractéristique, pour être susceptibles d'avoir des répercussions sur la croissance des plantes-tests et de permettre de "refaire" les réserves du sol (fertilité naturelle + élevée), devraient plutôt être provoqués par un fort accroissement de phosphore assimilable à azote constant ou en croissance plutôt que par le maintien du phosphore avec une perte non négligeable de la réserve azotée.

3.1.2. acidité ; bases échangeables.

Seule l'acidité au chlorure de potassium a subi une faible variation qui, en dépit de sa signification statistique, n'entraînera que peu de perturbation au niveau du sol et de la culture suivante.

Par contre, en ce qui concerne les bases échangeables, une attention toute particulière est à apporter au potassium échangeable, les autres cations ne subissent que peu de variations et sans influence réelles étant donné le niveau des réserves échangeables des différents cations.

La diminution du potassium peut paraître faible (0,05me/100g) mais en réalité cela représente plus de 16 % de la fraction dite échangeable. Comme au cours du premier cycle d'homogénéité, la perte a été de 0,08me% soit 20% du stock initial, on arrive après 12 mois de culture à 33% de pertes.

De ce fait les équilibres cationiques, déjà très précaires, ne font que se dégrader. Ainsi les rapports existants entre le calcium, le magnésium et le potassium prennent des valeurs très élevées pour ne pas dire énormes comme en témoignent le tableau 3. On arrive à des valeurs oscillant entre 120 et 173 alors que pour le sol de Bourail elles ne dépassent pas 40 (et encore elles sont nettement trop fortes selon les normes fixées expérimentalement pour maintenir le sol à son potentiel maximum).

La nécessité d'un apport important de fertilisants s'avère donc aussi urgent que pour le phosphore.

3.1.3. Comparaison avec l'évolution au cours du premier cycle.

Durant ces deux périodes, aucun apport de fertilisants n'a été effectué. Par contre il y eu installation d'une culture et quelques travaux d'entretien au cours du cycle et mise en place d'une plante de couverture après enfouissement des cannes de maïs pendant l'intercycle. On peut donc essayer de comparer ce qui s'est passé dans chaque cas.

a) il y a eu, en nombre, un peu moins de variations significatives pendant l'intercycle (7) que pendant la culture (8). D'autre part le seuil de signification des différences est de 0,1% pendant le cycle alors qu'il peut être de 1% (4) ou de 0,1% (3).

b) les caractéristiques concernées ne sont pas forcément les mêmes. Cependant le potassium échangeable (KE) et les variables qui en sont dérivées (MGE/KE par exemple) diminuent au cours des deux périodes. Mais si pendant l'intercycle, comme nous venons de le voir, c'est l'azote total (NT) qui diminue (avec CT/NT qui augmente), par contre au cours du cycle cultural ce fut le phosphore assimilable Truog (PAT) et le rapport PAT/NT qui subit une chute importante.

POUEBOUT

Tableau 2 - Comparaison des moyennes des caractéristiques physiques et chimiques au cours des différents cycles.

	Sigle des paramètres	Numéros des paramètres	Début de cycle 1980	Fin de cycle 1980	Comparaisons des \bar{x}	
					"t" observé	signification
Données physiques de base	IS	211 B	-	-	-	-
	AGRE	212 "	-	-	-	-
	AGRA	213 "	-	-	-	-
	AGRB	214 "	-	-	-	-
	Da	221 "	-	0,88	-	-
	ABT	225 "	-	203,90	-	-
	Hp	226 "	-	34,04	-	-
Données chimiques de base	PHE	228 "	6,06	6,22	3,46	***
	PHK	230 "	4,77	4,92	5,37	***
	CT	232 "	15,95	15,64	0,30	NS
	NT	234 "	1,11	1,07	1,09	NS
	PAT	236 "	20,29	9,35	6,91	***
	CAE	241 "	42,33	41,45	1,32	NS
	MGE	243 "	35,74	36,07	0,47	NS
	KE	245 "	0,39	0,31	4,34	***
	NAE	247 "	1,03	1,24	1,36	NS
Données physiques et chimiques dérivées	PT	202 D	-	61,40	-	NS
	CT/NT	208 "	14,37	14,62	1,21	NS
	SBE	210 "	79,51	79,06	0,66	NS
	S/T	212 "	-	-	-	-
	MGE/CAE	216 "	0,85	0,88	0,99	NS
	MGE/KE	218 "	94,19	122,74	8,37	***
	CAE/KE	220 "	113,00	141,79	4,36	***
	(MGE+CAE)/KE	-	207,19	259,75	6,83	***
PAT/NT	-	0,0191	0,0090	9,66	***	

t théorique : seuil 5% : 1,98

Seuil 1% : 2,63

Seuil 1°/∞ : 3,39

POULEMBOUT

Tableau 3 - Comparaison des moyennes des caractéristiques physiques et chimiques au cours des différents cycles.

	Sigle des paramètres	Numéros des paramètres	Début de cycle 1980	Fin de cycle 1981	Comparaisons des \bar{x}	
					"t" observé	signification
Données physiques de base	IS	211 B	-	-		
	AGRE	212 "	-	-		
	AGRA	213 "	-	-		
	AGRB	214 "	-	-		
	Da	221 "	0,88	-		
	ABT	225 "	203,90	-		
	Hp	226 "	34,04	-		
Données chimiques de base	PHE	228 "	6,22	6,21	0,23	NS
	PHK	230 "	4,92	4,38	2,764	**
	CT	232 "	15,64	15,50	0,36	NS
	NT	234 "	1,07	1,00	2,98	**
	PAT	236 "	9,35	10,22	0,99	NS
	CAE	241 "	41,45	42,09	1,23	NS
	MGE	243 "	36,07	36,42	0,66	NS
	KE	245 "	0,31	0,26	3,12	**
	NAE	247 "	1,24	1,09	1,26	NS
	Données physiques et chimiques dérivées	PT	202 D	61,40	-	-
CT/NT		208 "	14,62	15,57	3,04	**
SBE		210 "	79,06	79,82	0,25	NS
S/T		212 "	-	-	-	-
MGE/CAE		216 "	0,83	0,87	0,33	NS
MGE/KE		218 "	122,74	147,99	8,11	***
CAE/KE		220 "	141,79	172,99	4,03	***
(MGE+CAE)/KE		-	259,75	321,13	4,62	***
PAT/NT		-	0,0090	0,0104	1,47	NS

T théorique : seuil 5% : 1,98

Seuil 1% : 2,63

Seuil 1%/ ∞ : 3,39

POUEMBOU

Tableau 4 - Comparaison des moyennes des caractéristiques physiques et chimiques au cours des différents cycles.

	Sigle des paramètres	Numéros des paramètres	Début de cycle 1980	Fin de cycle 1981	Comparaisons des \bar{x}	
					"t" observé	signification
Données physiques de base	IS	211 B	-	-		
	AGRE	212 "	-	-		
	AGRA	213 "	-	-		
	AGRB	214 "	-	-		
	Da	221 "	-	-		
	ABT	225 "	-	-		
	Hp	226 "	-	-		
Données chimiques de base	PHE	228 "	6,06	6,21	3,56	***
	PHK	230 "	4,77	4,88	4,78	***
	CT	232 "	15,95	15,50	1,37	NS
	NT	234 "	1,11	1,00	5,90	***
	PAT	236 "	20,29	10,22	10,98	***
	CAE	241 "	42,33	42,09	0,49	NS
	MGE	243 "	35,74	36,42	1,31	NS
	KE	245 "	0,39	0,26	7,76	***
	NAE	247 "	1,03	1,09	0,50	NS
Données physiques et chimiques dérivées	PT	202 D	-	-	-	-
	CT/NT	208 "	14,37	15,57	4,11	***
	SBE	210 "	79,51	79,82	1,50	NS
	S/T	212 "	-	-	-	-
	MGE/CAE	216 "	0,85	0,87	0,95	NS
	MGE/KE	218 "	94,19	147,99	14,27	***
	CAE/KE	220 "	113,00	172,99	8,13	***
	(MGE+CAE)/KE	-	207,19	321,13	8,93	***
	PAT/NT	-	0,0191	0,0104	9,43	***

t théorique : seuil 5% : 1,98

Seuil 1% : 2,63

Seuil 1‰ = 3,39

L'explication de la diminution d'azote durant l'intercycle peut être fournie en considérant l'action de l'activité microbienne du sol qui a provoqué une consommation d'azote et peut être un départ par lixiviation ou sous forme gazeuse. Le maintien du taux de phosphore assimilable Truog s'expliquerait par la restitution des immobilisations dans les cannes de maïs et une absorption du même ordre par la plante de couverture. Ceci n'est qu'une hypothèse car on n'a jamais analysé ce que cette dernière avait réellement exporté (fin intercycle) puis restitué (au cours du cycle cultural suivant).

La diminution régulière du potassium échangeable signifie seulement que les consommations et les pertes éventuelles s'accroissent au cours de la mise en culture ; elles sembleraient donc supérieures à ce que les cannes de maïs restitueraient.

3.2. Résultats observés au cours du cycle cultural.

La comparaison des moyennes observées, pour les différents paramètres régulièrement suivis, ne peut se faire entre fin et début de ce cycle, en comparant seulement les moyennes générales qui ne feraient entrer en ligne de compte que les travaux du sol comme facteurs de variations. En effet les éléments fertilisants sont apportés à des doses différentes sur les 27 parcelles de chacune des répétitions. Il faudra donc comparer les moyennes soit par traitement élémentaire (par exemple, avec ou sans azote, quels que soient les niveaux du phosphore et de la potasse ajoutés), soit par interaction du 1er degré (par exemple, action des doses combinées d'azote et de phosphore, quel que soit l'apport de potasse). En ce qui concerne celles du second degré, il convient de se reporter au rapport I3 pour comprendre la démarche suivie destinée à comparer les 27 combinaisons différentes.

Nous allons passer en revue un certain nombre de caractéristiques physiques et chimiques. Notons que dans les graphiques regroupés dans les annexes 9 et 10 sont représentées les différences calculées entre les moyennes des traitements. Elles sont classées par ordre croissant en allant de l'action la plus faible à la plus forte (ou de la plus négative à la plus positive) pour permettre de mieux se rendre compte de l'action des différentes combinaisons et de l'amplitude des variations enregistrées au cours du cycle.

Au dessus de chacun des batonnets, on a placé 1, 2 ou 3 étoiles (*) selon que le test "t" de comparaison des moyennes a permis de diagnostiquer qu'elles sont significativement différentes aux seuils 5, 1 et 0,1%.

Tableau 5 - Comparaison des moyennes des caractéristiques physiques et chimiques au cours des différents cycles.

	Sigle des paramètres	Numéros des paramètres	Début de cycle 1980	Fin de cycle 1981	Comparaisons des \bar{x}	
					"t" observé	signification
Données physiques de base	IS	211 B	-	-		
	AGRE	212 "	-	-		
	AGRA	213 "	-	-		
	AGRB	214 "	-	-		
	Da *	221 "	0,88	0,92	4,14	***
	ABT *	225 "	203,90	-	-	-
	Hp *	226 "	34,04	-	-	-
Données chimiques de base	PHE	228 "	6,21	6,59	7,83	***
	PHK	230 "	4,88	5,08	10,65	***
	CT	232 "	15,50	13,98	4,59	***
	NT	234 "	1,00	1,01	0,63	NS
	PAT	236 "	10,22	14,69	2,71	**
	CAE	241 "	42,09	38,64	7,58	***
	MGE	243 "	36,42	34,40	4,33	***
	KE	245 "	0,26	0,35	5,53	***
	NAE	247 "	1,09	1,35	2,62	*
Données physiques et chimiques dérivées	POT *	202 D	61,40	59,71	4,05	***
	CT/NT	208 "	15,57	13,83	5,23	***
	SBE	210 "	79,82	74,71	10,88	***
	S/T	212 "	-	-	-	-
	MGE/CAE	216 "	0,87	0,895	1,29	NS
	MGE/KE	218 "	147,99	107,82	11,55	***
	CAE/KE	220 "	172,99	122,77	6,62	***
	(MGE+CAE)/KE		321,13	230,04	6,99	***
PAT/NT		0,0104	0,0143	2,28	*	

t théorique : seuil 5% : 1,98 Seuil 1% : 2,63 Seuil 1°/∞∞ : 3,39

* les données de la 1ère colonne sont celles de la fin du 1er cycle (80B) puisque ces mesures en calculs ne sont fait qu'un fin de cycle.

3.2.1. Caractéristiques physiques.

Sont considérées les variations observées sur la densité apparente (DA) et la donnée dérivée qu'est la porosité totale (Pot). Les comparaisons sont établies entre les valeurs mesurées à la fin des premiers cycles, étant donné que ces mesures ne sont réalisées qu'en fin de chacun des cycles.

3.2.1.1. Densité apparente (DA).

Les valeurs de cette caractéristique dépendent d'abord des modifications physiques que subit le sol lors des travaux de préparation. Elle peut être éventuellement modifiée à la suite d'apport d'éléments fertilisants parce que ces derniers auraient entraîné des changements dans la vie microbienne et dans le volume du système racinaire des plantes-tests.

Globalement la comparaison des deux moyennes générales montre une modification de la valeur de la densité apparente ; elle augmente suffisamment pour que la différence soit significative au seuil 0,1% (cf. tab. 5).

Si l'on examine ce qu'il se passe en comparant les moyennes des traitements simples ou combinés on peut noter plusieurs points intéressants (même si au niveau des facteurs contrôlés (cf. 22) il n'y ait rien qui soit apparu) :

* une augmentation significative due à la dose forte d'azote (N2) mais plus encore lorsqu'il n'y a aucun apport de cet élément (N0). Il en est de même du facteur "phosphore" qui entraîne une augmentation d'autant plus importante de la valeur de la densité apparente que la dose apportée devient plus faible et même nulle (P2 → P1 → P0).

Par contre le facteur "potasse" n'a aucun effet soit lorsqu'il n'y a aucun apport (K0), soit lorsqu'on apporte la dose la plus élevée (K2). On peut se reporter à la figure 91 des annexes 9 et 10.

** combinée avec le phosphore, l'absence d'azote provoque une augmentation de la densité apparente (N0P0, N0P1) ; si la combinaison s'effectue avec la dose moyenne de potasse (K1), un apport élevé d'azote s'avère dépressif alors qu'une dose moyenne (N1) ou pas d'apport du tout (N0) favorise l'action de K, déjà mise en évidence lors de l'examen des traitements simples.

Enfin si on considère les combinaisons (P*K), on s'aperçoit que K1 a toujours une action prééminente mais avec un apport de phosphore (P1 ou P2) ; il y aurait

une sorte de synergie entre ces deux éléments alors que, considéré globalement, la densité apparente diminue au fur et à mesure que l'on apporte du phosphore.

*** Au niveau des regroupements des trois facteurs contrôlés, les déductions précédentes sont assez difficiles à retrouver. Certes le niveau moyen de la potasse (K1) prédomine parmi les combinaisons qui augmentent la densité apparente alors que le niveau le plus élevé (K2) est le plus représenté parmi celles qui la font chuter. Par contre l'absence d'un apport quelconque d'azote et de phosphore se rencontre indifféremment.

En conclusion l'influence des facteurs contrôlés sur les variations des moyennes entre le début et la fin de ce second cycle semble se ramener à une action assez marquée de la potasse, les 2 autres facteurs jouant indifféremment selon la combinaison considérée. L'explication de cette action demeure assez incertaine pour le moment; il faudra attendre la synthèse sur 5 ans pour tenter d'en fournir une qui soit étayée.

3.2.1.2. La porosité totale.

C'est une donnée dérivée dont le calcul fait intervenir la densité apparente. Mais leurs variations sont inversées, la porosité diminuant quand la densité augmente comme l'examen de la formule ci-dessous permet de le comprendre aisément.

$$\text{Pot \%} = 100 \left(1 - \frac{DA}{DR} \right)$$

C'est pourquoi les conclusions que fournissent l'examen de la figure 99 des annexes 9 et 10 et des calculs de comparaisons des moyennes sont inversés par rapport à celles émises pour DA ; à savoir :

→ traitements simples : K1, dose moyenne de la potasse, entraîne une diminution plus élevée ; moins il y a d'apport de phosphore, plus la porosité baisse ; enfin l'absence d'azote a l'effet négatif le plus marqué.

→ traitements à 2 facteurs.

* combinée au phosphore, l'absence d'azote provoque la diminution la + forte de la porosité (NO1, NO0). Si la combinaison s'effectue avec la dose moyenne K1, un apport élevé d'azote s'avère bénéfique alors qu'une dose moyenne (N1) ou pas d'apport (No) favorise l'action négative de K1 déjà mise en évidence dans le paragraphe précédent.

Enfin au niveau des combinaisons "P*K", la dose moyenne de potasse (K1) a toujours son action prédominante ; elle est d'autant plus marquée qu'il y a eu apport de phosphore (P2).

En conclusion, pour maintenir la porosité, il faut agir en utilisant des combinaisons qui diminuent la densité apparente. Il faudra donc faire la part des choses pour savoir s'il est plus judicieux d'augmenter l'une ou l'autre ; le choix des combinaisons les plus adaptées se fera en tenant compte aussi des variations observées sur les facteurs chimiques que nous allons étudier maintenant.

3.2.2. Caractéristiques chimiques.

3.2.2.1. Phosphore, Azote, Carbone.

→ Phosphore.

La mise en parallèle des moyennes des traitements du début et de la fin du second cycle, dont les différences sont reportées sur la figure 95 des annexes 9 et 10, nous amène à faire les remarques suivantes :

* les moyennes générales sont significativement différentes au seuil 1% ; il s'agit alors de rechercher quels sont les traitements simples ou les combinaisons qui l'ont fait augmenter de plus de 40% au cours de ce premier cycle fertilisé (cf. tab. 5)

** on confirme l'action mise en évidence lors de l'analyse de variance ; cette dernière avait en effet permis de montrer que la teneur en phosphore assimilable Truog augmentait avec des doses de plus en plus importantes de fertilisants et que la combinaison N1K1 (doses moyennes d'azote et de potasse) avait l'action la plus efficace, au seuil de 1%.

*** si le phosphore est l'élément "actif" des combinaisons "N*P", on peut cependant montrer que le classement des apports d'azote suit celui obtenu avec les traitements simples à savoir $N2 > N0 \# N1$; il en est de même pour les différentes associations "P*K" dans lesquelles, avec la dose la plus élevée de phosphore (P2), on retrouve $K1 > K0 \# K2$.

**** L'observation du classement, des 27 différences obtenues en considérant les combinaisons à 3 facteurs offre la possibilité de mettre en lumière l'action dominante du facteur "phosphore" ; celles de l'azote et de la potasse passent au second plan. La dose la plus élevée (P2) se retrouve dans les 4 formules les plus actives alors que l'absence d'apport (P0) se retrouve dans celles qui entraînent des diminutions nettes des teneurs en phosphore assimilable.

(+760%) N1 <u>P2</u> K1	+42,0 (+)	(-100%) NO <u>P0</u> K1	- 13,0 (NS)
(+340%) N1 <u>P2</u> K2	+31,0 (NS)	(-100%) NO <u>P0</u> K2	- 11,0 (NS)
(+340%) NO <u>P2</u> K0	+31,0 (NS)	(-100%) N1 <u>P0</u> K0	- 11,0 (NS)
(+140%) N2 <u>P2</u> K1	+19,0 (NS)	(-85%) N2 <u>P0</u> K2	- 11,0 (NS)

→ carbone. De la figure 94 des annexes 9 et 10 et du tableau 5, il est possible de déduire :

* que la moyenne générale chute d'une façon très significative ; la perte est de plus de 10 % du stock du début de cycle ;

** que la grande majorité des moyennes des parcelles, que ce soit au niveau des traitements simples qu'à celui des traitements à 2 facteurs, diminuait très sensiblement (34/36) et d'une façon souvent significative statistiquement surtout lorsqu'on considère les premiers.

*** qu'on retrouve les actions les moins dépressives lorsqu'on a un apport quels que soient le niveau et la combinaison ; à l'exception de l'azote pour lequel la dose la plus élevée (N2) apparaît souvent dépressive.

*** au niveau des trois facteurs réunis, les traitements combinés les plus dépressifs comporte au moins l'absence d'un des fertilisants, alors que dans la formule de ceux qui occasionnent une légère augmentation (4/27) on remarque généralement la présence de tous les fertilisants ; le classement suivant illustre parfaitement ces conclusions :

(-29%) NO P0 K0	- 5,37 (*)	(6 ⁺ %) N1 P2 K1	+ 0,78 (NS)
(-20%) NO P1 K0	- 3,56 (NS)	(3 ⁺ %) NO P0 K2	+ 0,39 (NS) (?)
(-19%) N2 P2 K0	- 3,34 (NS)	(2 ⁺ ,3%) N1 P1 K1	+ 0,31 (NS)
(-20%) N1 P0 K2	- 3,16 (NS)	(0 ⁺ ,2%) N2 P2 K2	+ 0,03 (NS)
(-16%) N2 P0 K2	- 3,12 (NS)		

Il s'avère donc indispensable, même si les facteurs contrôlés n'agissent pas au niveau des composantes du rendement ou des teneurs de la plante-test en certains éléments, d'apporter une certaine fertilisation de façon à maintenir le statut initial du sol en carbone total, sinon à l'améliorer. Il suffit de rappeler, pour justifier cette conclusion, que la matière organique du sol est la source la plus sûre et la plus durable des composés minéraux, ammoniacaux ou nitriques.

→ Azote total.

Aucune variation significative n'a été mise en évidence. Le stock total s'est maintenu globalement, sans plus.

→ Variables dérivées.

* le rapport carbone total/azote total (CT/NT) suit, quant aux variations subies par les valeurs moyennes au cours du cycle, des influences à peu près similaires à celles du numérateur du rapport ; cela se comprend assez facilement lorsqu'on se rappelle que l'ensemble des valeurs moyennes du dénominateur (NT) n'ont pas subi de modification significatives au cours de ce premier cycle fertilisé (cf. figure 100 des annexes 9 et 10).

* le rapport phosphore assimilable Truog/Azote total (PAT/NT) quant à lui, s'il a des variations très proches de celles observées lors de l'étude du PAT, met encore mieux en lumière l'action prépondérante du facteur contrôlé comme cela avait déjà été le cas lors de l'étude des résultats de l'analyse de variance. Mais on peut aussi constater, en examinant les graphiques 105 des annexes 9 et 10, que les facteurs azoté et potasse agissent encore par leur dose moyenne (N1 et K1) dans toutes les combinaisons à 2 facteurs dans lesquelles elles interviennent (N1K1, N1P2, P2K1).

(480%) N1 P2 K1 + 3.9×10^{-2} (*)	(-100%) NO PO K1	- 1.3×10^{-2} (NS)
(340%) NO P2 K0 + 2.9×10^{-2} (NS)	(-100%) NO PO K2	- 1.2×10^{-2} (NS)
(276%) N1 P2 K2 + 2.8×10^{-2} (NS)	(-100%) NO PO K0	- 1.2×10^{-2} (NS)

3.2.2.2. Acidité - Bases échangeables.

→ PHE. Comme l'a montré l'action des facteurs contrôlés, l'augmentation des valeurs de l'acidité à l'eau (PHE) se fait soit avec un apport limité soit sans apport de potasse, alors que un apport plus élevé (K2) n'entraîne qu'une variation en hausse plus faible.

La comparaison des moyennes nous amène à constater que :

* les moyennes générales sont différentes très significativement et l'augmentation de 6 % amène l'acidité à la valeur de 6.6 ;

** que toutes les moyennes, quel que soit le traitement considéré sont en hausse ;

*** que seul la potasse a une action différentielle; d'où la mise en évidence de l'action de ce facteur contrôlé , comme cela a été rappelé plus haut.

*** que l'on retrouve, lorsqu'on considère les valeurs des moyennes des combinaisons "N*K", "P*K" et "N*P*K", ce qui a été déjà observé pour les moyennes des traitements simples : c'est à dire une plus forte augmentation avec K0 et K1 (sans et avec 80 kg/Ha d'azote) qu'avec K2 (160 kg/Ha). Les graphiques de la figure 92 des annexes 9 et 10 le mettent en évidence.

Les pourcentages varient entre 6,9 % et 8,4 % et portent les valeurs absolues de 6,2 et 6,7 soit une augmentation de 0,5 unité pH ce qui est relativement élevé. Il faudra surveiller étroitement ces variations pour éviter que ces valeurs absolues ne croissent trop. Pour le moment elles sont encore en dessous des valeurs considérées comme limitées pour le maïs à savoir 7.3 (essais en serre effectuées à Nouméa et au cours desquels la croissance de cette plante-test a été gênée par de telles valeurs).

→ PHK.

L'étude des résultats de l'analyse de variance avait fait voir une action du facteur potasse ; mais la signification était moindre puisque le "F" calculé était significatif au seuil de 5 % au lieu de 1% pour le PHE.

C'est pourquoi, si on examine les graphiques de la figure 93 des annexes 9 et 10 on remarque que seule l'absence d'apport potassique (K0) a pour conséquence d'augmenter l'acidité au KCL. Par contre les apports, quelque soit leur niveau, ont des effets similaires ; alors que K1, pour le PHE, avait un effet nettement différent de celui de K2 et proche de celui de K0.

Les combinaisons à 2 facteurs montrent certes une action de K₀, différentes de celles des 2 autres niveaux de fertilisation ; mais cela est moins net que pour PHE. Il y a un accroissement de 5,3 % avec K₀ contre 3,9 et 3,4 avec K₁ et K₂. Par contre on passe de 4,87 à 5,07 en valeurs absolues moyennes quelque soit le traitement ; ceci représente environ 0.2 unité pH. Ces chiffres confirment l'action plus modérée des traitements et une variation moins importante des valeurs moyennes pendant ce cycle fertilisé, que pour l'autre acidité.

Nous retiendrons finalement l'action de l'absence d'apport de fertilisation potassique comme facteur d'accroissement de l'acidité mesurée au KCL.

→ CAE.

Deux remarques préliminaires après examen du tableau 5 et de la figure 96 des annexes 9 et 10.

- la moyenne générale du calcium échangeable baisse de façon nette et très hautement significatif du point de vue statistique ;

- il y a une diminution générale de cet élément échangeable qu'il que soit le traitement appliqué ; les valeurs sont toutes plus faibles en fin de cycle. Cela apparaît logique et devrait pouvoir s'expliquer par une exportation (grains) ou une immobilisation (tiges et feuilles) de la plante-test ; en effet il n'y a eu aucun apport et le maïs a besoin de calcium pour sa croissance. Ceci explique pourquoi aucune action des facteurs contrôlés N, P ou K n'a pu être mise en évidence par l'analyse de variance.

L'utilisation du test t a permis de montrer que, statistiquement, toutes les moyennes des parcelles ayant reçu des traitements simples ou un traitement à 2 facteurs ont évolué négativement au seuil 0,1 % pour les premiers et 5 % pour les seconds. Seuls deux traitements (N1P2 et N1K1) diminuent non significativement la moyenne du Calcium échangeable ; ces deux traitements pourraient donc être considérés comme les "moins mauvais".

Si l'on examine les variations des 27 traitements élémentaires (NPK) on constate des diminutions variant de 2,1 me à 4,65 me% avec une moyenne de 3,5 me% ; en valeurs absolues on passe de 42,1me à 38,6me . Ceci est relativement important bien que les réserves soient encore très élevées et que cela ne pose pas de problèmes actuellement pour l'alimentation calcique des cultures.

→ MGE - Les mêmes remarques que pour le calcium échangeable peuvent être faites pour le magnésium. La seule différence importante vient du fait que, si la moyenne générale a diminué également d'une façon très significative, celles observées pour les traitements sont moins importantes en pourcentage et en intensité (cf. figure 97). En fait seules les moyennes des parcelles ayant reçu un traitement simple (N, P ou K) ont chuté significativement au seuil de 5%. Les moyennes des traitements à 2 ou 3 facteurs n'ont pas subi de variations d'une amplitude suffisante pour que l'on puisse les considérer comme significatives statistiquement; cela ne veut pas dire qu'elles n'ont pas chuté mais les niveaux atteints, en valeur absolue, restent encore élevés.

→ KE - Si on se reporte à la figure 98 des annexes 9 et 10 qui représente l'influence respective des traitements sur l'évolution des teneurs au cours de l'année 1981, on peut émettre les remarques suivantes :

* forte augmentation de la moyenne générale, de l'ordre de 45 %. Ceci signifie soit que chacun des traitements entraîne une augmentation du même ordre de grandeur (variation des moyennes sans action des facteurs contrôlés) ; soit qu'un ou plusieurs traitements a une action déterminante, ce qui semble être le cas puisque l'analyse de variance montre une action très différentes des trois doses de fertilisation (cf. 224).

** les résultats concernant les moyennes des traitements simples (N, P ou K) confirment l'action importante de la dose la plus forte de potasse (K2) par rapport à l'absence d'apport mais aussi à la dose moyenne (K1, 80kg/ha). Le premier graphique rend compte de cette différence. Mais il montre aussi - sans pour autant que cela ait été mis en évidence lors de l'analyse de variance - que le phosphore provoque une augmentation non négligeable de la fraction échangeable du potassium ; celle-là est d'autant plus importante que l'apport de phosphore est plus élevé ; la dose la plus forte (P2, 160kg/ha) est nettement plus "active" que P0 et P1 dont les effets sont proches (0.105 me contre 0.074 et 0.066 me).

Quant à l'azote, les trois niveaux de fertilisation ne se distinguent pas par leur effet.

*** parmi les combinaisons N*P, seul "N1*P2" se détache des huit autres ; on y retrouve la dose la plus forte de phosphore ;

Quant au classement des traitements à 2 facteurs qui comportent le facteur "potasse", on peut dire qu'il est régi par ce facteur en premier lieu ; puis par le phosphore lorsque celui-ci est présent ; l'azote, comme déjà souligné, agit mais

sans préférence pour telle ou telle niveau d'apport. Le 4ème graphique de la figure montre bien le classement K0, K1, K2 et, à l'intérieur de chacune de ces classes, l'effet phosphore (P0, P1, P2).

**** Enfin, lorsqu'on considère les divers regroupements faisant intervenir les 3 facteurs aux différents niveaux, les conclusions précédentes se retrouvent, très nettes pour ce qui est de la potasse, moins nettes pour le phosphore. Ainsi

-	Combinaisons	Valeurs absolues	-	Combinaisons	Valeurs absolues
(28%)	N2P1 K0	- 0.085 me	(136%)	N2P2 K2	+ 0.31 me
(11%)	N2P2 K0	- 0.030 me	(119%)	N1P2 K2	+ 0.25 me
(7%)	N0P0 K1	- 0.025 me	(66%)	N0P1 K2	+ 0.22 me
(7%)	N0P2 K0	- 0.020 me	(77%)	N0P2 K2	+ 0.13 me
(8%)	N1P0 K0	- 0.020 me	(90%)	N1P0 K2	+ 0.18 me
les + dépressives			les + actives		

→ Somme des bases échangeables (SBE)

La figure 101 des annexes 9 et 10 représente les variations de la somme des bases échangeables durant ce second cycle.

Il faut noter surtout que les moyennes de tous les traitements, ainsi que la moyenne générale, ont diminué notablement ; les valeurs des "t" calculés du test de Student-Fisher sont supérieures à celles du "t" théorique au seuil 0,1% (N,P,K) au 0,1 % et 1% (2 facteurs combinés). Il y a donc une baisse générale sans qu'aucun traitement n'ait une action plus particulière sur ce facteur.

Pour situer le taux de cette baisse, nous tablerons sur la moyenne générale ; il est de 6 à 7 %. Ce qui correspond à environ 5 me pour 80 me de moyenne absolue.

Par voie de conséquence le taux de saturation (SBE/T) diminue d'environ 7%, ce qui semble logique puisqu'on considère alors que le seul facteur de variation est la SBE, c'est à dire le numérateur.

→ Rapports entre bases échangeables.

Les rapports qui subissent une variation forte sont ceux dont l'une des composantes est le potassium échangeable, ce paramètre ayant subi des fluctuations marquées selon le niveau de fertilisation considérée. Comme le potassium est un dénominateur, et que ses augmentations sont nettement plus importantes, selon la dose, que celles du calcium ou du magnésium, on assiste à des diminutions spectaculaires, que ce soit pour les moyennes générales ou pour celles des traitements ; ces dernières sont fonction des mêmes combinaisons que celles mises en évidence pour le potassium échangeable seul, à savoir :

* plus l'apport de fertilisation potassique est élevé, plus l'action est forte et donc plus la diminution est forte (en valeur absolue). On peut dire que

effet K2 >> effet K1 >> effet K0

** avec le phosphore, l'apport de potasse (K2 ou K1) agit plus quand la dose est la plus élevée (P2 > P1 ou P0) ; il en est de même avec l'azote surtout dans les parcelles ayant reçu la dose la plus forte de potasse (K2).

Se reporter aux figures 104 et 105 des annexes 9 et 10.

En conclusion, on retrouve ce qui avait été déjà vu lors de l'étude des analyses de variance de ces données dérivées et lors des comparaisons de moyennes des données de base composant les rapports étudiés.

En ce qui concerne le sol, cela permet de rééquilibrer les teneurs en potassium échangeable par rapport aux cations bivalents (calcium, magnésium) mais sans atteindre encore des valeurs comprises dans une fourchette dont les extrêmes sont considérées comme équilibrés. Il faut donc continuer à forcer sur la fumure potassique, même si cette dernière n'a pas d'effet immédiat sur les composantes du rendement ; cela signifie "maintenir les doses actuelles sinon les augmenter".

3.3. Premières conclusions.

→ Le suivi de l'évolution des caractéristiques physiques et chimiques au niveau de la moyenne générale au cours de l'intercycle - seule à prendre en compte car il n'y a pas de fertilisation - montre que les valeurs à la fin du premier cycle et au début du second sont significativement différentes au seuil de 0,1% (3 cas), au seuil de 1% (4 cas); par contre 9 variables voient leur moyenne générale ne pas être statistiquement différente même si elle ont légèrement augmenté (4 cas) ou diminué (5 cas).

Ceci signifie que les modifications provoquées par les travaux du sol, l'enfouissement des cannes sèches de maïs et la mise en place d'un engrais vert ne se sont fait vraiment sentir que sur un petit nombre de caractéristiques ; parmi ces dernières, on relève l'azote total (NT), l'acidité au KCL (PHK) mais surtout le potassium échangeable (KE) qui diminue et les variables dérivées (MGE/KE, CAE/KE, (MGE + CAE)/KE) dont les valeurs augmentent assez fortement.

→ L'évolution des caractéristiques au cours du second cycle fertilisé amène à formuler quelques conclusions assez nettes :

* le facteur potasse, lorsqu'il agit, le fait au niveau de l'apport, le plus souvent au plus haut niveau (PHE, PHK, Pot, KE, MGE/KE, CAE/KE, (MGE + CAE)/KE) mais aussi au niveau moyen (DA).

Ceci se retrouve de la même façon si on considère les moyennes des traitements simples (N, P ou K) que les combinaisons à 2 ou 3 facteurs.

** le facteur phosphore agit le plus souvent par apport, généralement avec la dose la plus élevée (P2). Cela concerne le carbone total, le phosphore assimilable Truog, le potassium ou les rapports qui contiennent cette caractéristique (comme MGE/KE). Il peut parfois agir par absence comme pour la densité apparente. Cette action se confirme, comme pour la potasse, lorsqu'on passe aux combinaisons du 2ème ou du 3ème niveau (traitement élémentaire, N*P*K).

*** Enfin l'azote agit relativement peu sur les caractéristiques de ce verti-sol. Lorsqu'il le fait, c'est généralement par apport, sauf pour la densité apparente (DA). Le niveau de la fertilisation semble finalement à déterminer plus par l'action de ce facteur sur les caractéristiques de la plante-test que sur celles du sol. En effet le carbone total (CT) et la porosité totale (PoT), sur lesquels il agit efficacement, peuvent voir leur niveau maintenu ou augmenté quelle que soit la dose apportée.

Il sera donc très intéressant de suivre toutes les actions, qu'elles soient ou non explicables par les facteurs contrôlés de la fertilisation ; en effet ceux-ci ne représentent en fait qu'une partie des facteurs pouvant intervenir sur l'évolution des caractéristiques des sols. Il faudra notamment confirmer le rôle prépondérant d'un apport élevé de potasse (K2), l'action efficace du phosphore avec un résultat d'autant plus marqué qu'on en apporte plus, enfin le rôle "annexe" du facteur azote.

TABLEAU 6 - TABLEAU RECAPITULATIF DE L'EVOLUTION DES MOYENNES AU COURS DU SECOND CYCLE CULTURAL (81B-81A).

Paramètres	Action facteurs contrôlés	Sens général de l'évolution	Facteur N	Facteur P	Facteur K	Interaction X*Y	Interaction X*Y*Z	Moyennes générales	Conclusions
DA	/	↑	No > N ₂	Po > P ₁	K ₁	$\frac{NoP_1}{NoPo} \quad \frac{P_2K_1}{P_1K_1}$ $\frac{N_1K_1}{NoK_1}$	N _x P _y K ₁	***	Dose moyenne de potasse (K ₁) Indifférent pour N et P (à proposer : N ₁ et P ₁ ou P ₂)
PHE	K	↑	No#N ₁ #N ₂	Po#P ₁ #P ₂	Ko#K ₁ >K ₂	$\frac{Ko \text{ ou } K_1 \checkmark N}{Ko \text{ ou } K_1 \checkmark P}$ $\frac{NoP_2}{N_1Po} \quad \frac{N_2Po}{N_1P_1}$	Ko√N, P K ₁ √N, P	***	Si on veut diminuer l'acidité du milieu et se rapprocher de la neutraliser, il faudra utiliser soit un apport moyen (K ₁) soit aucun apport (Ko). Si on veut la maintenir on optera pour la dose forte (K ₂).
PHK	<u>Bloc</u> K	↑	No#N ₁ #N ₂	Po#P ₁ #P ₂	Ko#K ₁ #K ₂ moindre effet que pour PHE	$\frac{Ko \checkmark N}{Ko \checkmark P}$ $\checkmark N, P$	Ko√N, P	***	Seul Ko entraîne une augmentation du PHK ; K ₁ et K ₂ le maintiennent
CT	/	↓	No N ₂	Po	Ko	$\frac{N_2Po}{NoPo}$ $\frac{NoKo}{PoKo}$	No√P, K Po√N, K Ko√N, P	***	Pour éviter les chutes de carbones total, il faut apporter une fertilisation même à un niveau moyen (N ₁ P ₁ K ₁ à N ₂ P ₂ K ₂)
NT	/		/	/	/	/	/	NS	/

* N.B. √ signifie quelle que soit la dose de -

TABLEAU 8 - TABLEAU RECAPITULATIF DE L'EVOLUTION DES MOYENNES AU COURS DU SECOND CYCLE CULTURAL (81B-81A).

Paramètres	Action facteurs controlés	Sens général de l'évolution	Facteur N	Facteur P	Facteur K	Interaction X*Y		Interaction X*Y*Z	Moyennes générales	Conclusions
						$\frac{N_2 P_0}{N_0 P_1}$	$\frac{N_1 K_1}{N_0 K_1}$			
Pot	/	↓	$N_0 > N_2 > N_1$	$P_0 \# P_1 > P_2$	$K_1 > K_0 > K_2$	$\frac{N_2 P_0}{N_0 P_1}$	$P_2 K_1$	$N_x P_y K_1$	***	Il sera préférable d'augmenter la porosité plutôt que d'accroître la densité apparente d'où fertilisation $N_2 P_2 K_2$
RU3.0	/		/	/	/	/		/	/	/
RU2.5	/	/	/	/	/	/		/	/	/
CT/NT	/	↓	N_0 N_2	P_0	K_0	$\frac{N_2 P_0}{N_0 P_0}$		$N_0 \sqrt{P, K}$ $P_0 \sqrt{N, K}$ $K_0 \sqrt{N, P}$	***	Apporter une fertilisation comprise entre $N_1 P_1 K_1$ et $N_2 P_2 K_2$
						$\frac{N_0 K_0}{P_0 K_0}$				
SBE	/	+	$N_0 \# N_1 \# N_2$	$P_0 \# P_1 \# P_2$	$K_0 \# K_1 \# K_2$	\sqrt{NP} sauf $N_1 P_0$ \sqrt{PK} sauf $P_1 K_1$		\sqrt{NPK}	***	Aucun traitement élémentaire n'a d'effet non dépressif sur la somme des cations échangeables.

TABLEAU 9 - TABLEAU RECAPITULATIF DE L'EVOLUTION DES MOYENNES AU COURS DU SECOND CYCLE CULTURAL (81B-81A).

Paramètres	Action facteurs contrôlés	Sens général de l'évolution	Facteur N	Facteur P	Facteur K	Interaction X*Y	Interaction X*Y*Z	Moyennes générales	Conclusions
MGE/CAE	/		/	/	/	/	/	NS	/
MGE/KE	K	+			Idem	KE		***	Idem KE
CAE/KE	K	+			Idem	KE		***	Idem KE
$\frac{(MGE+CAE)}{KE}$	K	+			Idem	KE		***	Idem KE
PAT/NT	P	↑↑	N ₁	P ₂ >> P ₁ ou P ₀	K ₁	$\begin{matrix} N_1 & P_2 \\ N_1 & K_1 \\ P_2 & K_1 \end{matrix}$	P ₂ √N, K	*	Dose forte de P (160 kg/ha) √N, √K (avec propositions de N ₁ et K ₁)

TABLEAU 10 - Récapitulatif des propositions de fertilisations pour maintenir le potentiel du sol, voire l'améliorer.

N	P	K	Conclusions
N1	P1 P2	K1	9 N0 13 N1
√N	√P	K2	14 N2
√N	√P	K1, K2	
N1	P2	K1	5 P0
√N	√P	√K	7 P1
√N	√P	√K	14 P2
√N	P2	K2	3 K0
N2	P2	K2	8K1
N1,N2	P1,P2	K1, K2	11K2
√N	√P	√K	
√N	P2	K2	
√N	P2	K2	
√N	P2	K2	
√N	P2	K2	
N1	P2	K1	<u>Finalemnt</u> N1 ou N2 AVEC P2 K2