

DIRECTION
DU DEVELOPPEMENT
DE L'ÉCONOMIE RURALE
(DIDER)

SECTION RECHERCHE

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

LABORATOIRE DE PEDOLOGIE

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**

II

**EXPÉRImentation
SUR SOL PEU ÉVOLUÉ D'APPORT**

6 A

(TEXTE)

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 deuxième cycle

DIRECTION DU DEVELOPPEMENT
DE L'ECONOMIE RURALE
(DIDER)

Section Recherche

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

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.

II

EXPERIMENTATION
SUR SOL PEU ÉVOLUÉ D'APPORT.

6A

(TEXTE)

- 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 deuxième cycle.

Sommaire.

Avertissement

Documents de référence antérieurs

Résumé

1. Objectif du rapport
2. Etude de l'influence des facteurs contrôlés sur certaines caractéristiques physico-chimiques du sol
 - 2.1. Résultats fournis par l'analyse de variance en début de cycle
 - 2.2. Résultats fournis par l'analyse 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 3ème cycle
 - 3.2. Résultats concernant la fin du 3ème cycle
 - 3.3. Conclusions

Avertissement.

Ce document est le sixième de la série concernant l'étude de la fertilisation nitro-phospho-potassique du maïs sur sol peu évolué d'apport.

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 modélité 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'installations 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 physico-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 - Décembre 1983 - Rapport Annexe - Résultats complets des analyses de variance réalisées sur les données brutes des paramètres du début et de la fin du 2ème cycle cultural (1er cycle fertilisé)

SERIE III - EXPERIMENTATION SUR VERTISOL.

- 1 - B. DENIS - Novembre 1983. Niveaux des principales caractéristiques physiques et chimiques du sol. Evolution au cours du premier cycle cultural.
- 2 - B. DENIS - Novembre 1983. Rapport Annexe. Résultats complets des "analyses de variance" réalisées sur les données brutes des paramètres du début et de la fin du 1er cycle cultural. (Test d'homogénéité).

+++++++

+++++

++

R é s u m é .

L'étude de l'influence des facteurs contrôlés et de l'évolution des caractéristiques physiques et chimiques du sol au cours de ce troisième cycle de culture, deuxième 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 indices suivis depuis le début de l'expérimentation.

1. Effet des facteurs contrôlés.

C'est ainsi que les effets "bloc" observés tant pendant l'intercycle qu'au cours du cycle de culture sont concordants ; d'une part, on note la "dominance" du même bloc (Bloc 1 > Bloc 2) pendant les deux périodes avec des différences très significatives ; d'autre part il y a un renforcement de la différence entre les deux blocs pendant l'intercycle quelle que soit la variable considérée ; ce renforcement s'accroissant au cours du 3ème cycle, quand les variables ne sont pas directement intéressées par les facteurs contrôlés (PHE, MGE, NAE) mais s'atténuant quand les valeurs des parcelles pouvaient être directement influencées par les apports de fertilisants (PAT, KE, MGE/KE, CAE/KE).

Quant aux effets des autres facteurs contrôlés, on peut les résumer ainsi : Au cours de l'intercycle, les arrières-effets se sont fait sentir au niveau des doses les plus élevées de l'azote et de la potasse ; il n'y a eu aucune action de la fumure phosphatée du cycle précédent. Pendant le cycle proprement dit, les trois facteurs contrôlés, azote, phosphore et potasse, ont agi de façon similaire et le seuil de signification était de 5 %, inférieur à la moyenne des seuils du cycle précédent (donc effets moindres).

Hormis le phosphore qui agit sur le phosphore assimilable Truog (PAT) et le rapport phosphore/Azote (PAT/NT) mais surtout sur les caractéristiques physiques (Densité apparente, (DA), et variables dérivées comme la porosité totale et la réserve en eau utile), les deux autres facteurs n'agissent que sur les caractéristiques avec lesquelles leurs liens sont connus ou évidents ; ainsi le facteur "potasse" modifie les valeurs du potassium échangeable (KE) et celles des variables dérivées contenant (KE) ; le facteur azote influe sur l'azote total (NT), le taux d'agrégats au benzène (AGRB) et le rapport PAT/NT.

2. Evolution des niveaux des caractéristiques avec ou sans action des facteurs contrôlés.

Parallèlement à l'étude de l'action des facteurs contrôlés, le suivi de l'évolution des caractéristiques physiques et chimiques est nécessaire. En effet, même si aucun facteur contrôle n'agit, on peut remarquer des modifications non négligeables voir importantes des moyennes. Ainsi au cours de l'intercycle, la majorité des moyennes générales a varié d'une façon très significative (12 variables sur 16). Si on considère les moyennes des traitements, puisque le cycle précédent était un cycle fertilisé, pour essayer de mettre en évidence des arrières-effets de fertilisation (on considère que l'action des travaux et enfouissement de cannes de maïs ont agi uniformément sur toutes les parcelles de l'essai), on constate que les diminutions les plus faibles ou les augmentations les plus favorables sont notées dans les parcelles ayant reçu au début du cycle précédent (2ème cycle) :

- * la fertilisation azotée la plus élevée soit $N_2 = 160 \text{ kg/ha}$.
- ** le traitement P1 (80kg/Ha) en ce qui concerne le phosphore ;
- *** enfin un apport moyen de potasse (100kg/Ha)

. Au cours du cycle proprement dit, la presque totalité des moyennes générales ont évolué d'une façon très significative dans les neuf dixièmes des cas.

Lorsqu'on étudie l'évolution des moyennes des traitements, soit simple (N, P, K) soit les interactions de 1er ordre (NP par exemple) soit celles de second ordre (N1 P2 K2 par exemple), on en déduit que, avec ou sans l'action des facteurs contrôlés évoquée plus haut, les moindres diminutions ou les accroissements les plus bénéfiques se remarquent lorsqu'on a :

- * un apport azote moyen (N1 = 80kg/Ha), la dose la plus forte (N2) ayant une action dépressive ;
- ** une fertilisation phosphatée, quelque soit le traitement (P1 ou P2) ;
- *** un traitement potassique, avec la dose K1 (100kg/Ha) qui semble avoir des effets suffisamment efficaces.

Remarquons que certaines caractéristiques, quel que puisse être le traitement, ont des variations similaires. Ainsi le calcium et le magnésium échangeable diminuent dans toutes les parcelles sans qu'aucun traitement puisse être isolé (les différences entre les moyennes du début et de fin du cycle sont presque toutes significativement différentes).

3. Parallèle entre les deux premiers cycles fertilisés.

Une comparaison rapide avec les conclusions émises à la fin du 2ème cycle entraîne trois remarques, en ce qui concerne les apports de fertilisants :

- * l'apport d'azote doit se faire modérément (dose moyenne N1). Un apport plus important (N2 = 160kg/Ha) a le même effet dépressif qu'au cours du second cycle ;
- ** il est nécessaire d'amener du phosphore mais sans que cela soit aussi important qu'au cours du 2ème cycle (P1 = 80 kgs semble suffir pour agir sur les caractéristiques sensibles aux apports de P ; cela est peut être du aux réserves encore disponibles du sol) ;
- *** la potasse, bien que nécessaire dans certains cas, n'agit pas plus que précédemment au cours de la 3ème année.

1. OBJECTIFS DU RAPPORT.

Ce document concerne le troisième cycle de culture de l'étude de la fertilisation nitro-phospho-potassique du maïs sur sol peu évolué d'apport qui a pu être mis en place en mai 1981. Ceci était 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 obtenus sur l'action des facteurs contrôlés que sont l'azote, le phosphore et la potasse sur les caractéristiques physiques et chimiques des 54 parcelles de l'essai. De plus il fait le point sur l'évolution des niveaux des caractéristiques étudiées au cours de ce cycle. Enfin il permet de mettre en parallèle les évolutions au cours des 2 cycles fertilisés, de les comparer et d'essayer d'expliquer leur importance et leur sens.

2. ETUDE DE L'INFLUENCE DES FACTEURS CONTROLÉS SUR CERTAINES CARACTERISTIQUES PHYSICO-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 troisième 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 troisième cycle et la fin du second, d'autre part entre la fin et le début du troisième 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 ; puis ont été réalisés les travaux de préparation du sol en vue du semis du troisième cycle. Les échantillons du début de ce cycle ont été prélevés juste avant l'apport de fertilisants 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.

Etant donné qu'au cours du second cycle une fertilisation a été apportée, seront pris en compte dans l'analyse de variance aussi bien les effets "bloc" que les effets des facteurs contrôlés. En effet cela permettra peut-être de constater une sorte "d'arrière effet" de l'azote, du phosphore et de la potasse sur les caractéristiques physiques et chimiques du sol se superposant à une évolution possible due aux façons culturales et à la mise en place d'une plante de couverture.

Dans les tableaux 1 et 2 de l'annexe 1 ont été reportées les différentes valeurs calculées des tests "F" ainsi que les degrés de signification par comparaison avec les tableaux "F" théoriques aux seuils 5 %, 1 % et 0,1 %. L'annexe 8 donne les résultats complets des analyses de variance des paramètres pour lesquels des modifications statistiquement significatives ont été observées au niveau des blocs ou des facteurs contrôlés.

2.1.1. Effets blocs.

Comme lors de l'étude du cycle précédent, on constate que les effets "blocs" ne jouent pas tout à fait sur les mêmes paramètres. Contrairement à ce qui avait été observé au cours du second cycle (cf. rapport II/4), on constate que les variations entre répétitions sont plus importantes au cours du second intercycle (81A-80B) qu'au cours du second cycle (80B-80A) ; en effet ^{on} comptabilise 10 actions significatives statistiquement au lieu de 6.

Si l'on considère la dominance d'un bloc par rapport à l'autre (effet statistiquement calculé) ou sa "prépondérance" (pas d'effet), l'examen du tableau 1 et des figures 31 à 34 de l'annexe 3 montre que :

- au cours du 2ème cycle, "bloc 2 > bloc 1" se rencontrent 6 fois alors que l'on note seulement 4 fois "bloc 1 > bloc 2" ;

- au cours du second intercycle, il y a dominance quasi générale du bloc 1 par rapport au bloc 2 pour tous les paramètres à l'exception du phosphore assimilable Truog (PAT) ;

- il y a 5 changements dans le sens de dominance ou de prépondérance entre ces deux périodes successives au niveau du sodium échangeable (NAE) et surtout des rapports entre données de base (MGE/CAE à PAT/NT).

La seconde constatation est que les degrés de signification de ces effets, et donc l'importance plus grande des différences observées, sont toujours plus élevés au cours du deuxième intercycle à l'exception du PAT.

Les explications de ces évolutions ne sont pas aisées à fournir pour le moment. Nous ne pouvons que les constater en espérant mieux les comprendre et les expliquer en fin d'expérimentation. Il est cependant possible de dire que les effets "bloc" du deuxième intercycle sont très proches de ce que l'on avait noté en début d'expérimentation (79A) pour les mêmes paramètres de base (PHE à NAE) ; le degré de signification est soit du même niveau soit plus fort. En ce qui concerne les rapports, si l'on avait affaire à des "tendances", elles sont devenues des "effets" en s'inversant (MGE/KE ; CAE/KE) ou si l'on avait déjà un effet statistique il se renforçait (PAT/NT).

Tableau 2. Comparaison des effets "bloc" au cours du second intercycle et du début d'expérimentation.

Paramètres	79 A			81 A - 80 B		
	B1	"F"	B2	B1	"F"	B2
PHE	(+)	2,6	(-)	+	8,9	-
PHK	+	19,3	-	+	15,2	-
PAT	+	11,3	-	-	11,3	-
MGE	-	9,0	+	+	8,0	-
KE	+	5,7	-	+	10,9	-
NAE	+	7,5	-	+	13,9	-
MGE/KE	(-)	4,2	(+)	+	13,0	-
CAE/KE	(-)	0,99	(+)	+	15,9	-
(MGE+CAE)/KE		-		+	15,2	-
PAT/NT	+	10,8	-	+	15,8	-

Les annexes 3 et 4 des graphiques et tableaux contiennent les figures 35 à 38 d'une part, 39 à 42 d'autre part. Dans les premières sont représentées les valeurs absolues ; on peut ainsi se rendre compte du niveau de chacun des paramètres à un moment donné de l'expérimentation ; dans notre cas on se rend compte :

TABLEAU 1 - EFFETS "BLOCS".

Périodes Paramètres	80B-80A			81A-80B			81B-81A		
	B1	"F"	B2	B1	"F"	B2	B1	"F"	B2
PHE	(+)	0,07	(-)	+	8,87	-	+	34,6	-
PHK	+	6,50	-	+	15,21	-	+	9,03	-
PAT	-	217	+	-	11,3	+	-	0,09	+
MGE	(+)	2,60	-	+	8,03	-	+	22,1	-
KE	(+)	2,28	(-)	+	10,9	-	(+)	1,02	(-)
NAE	-	6,41	+	+	13,9	-	+	53,1	-
				↔					
MGE/KE	-	6,24	+	+	13,0	-	+	4,88	-
CAE/KE	-	3,92	+	+	15,9	-	+	4,28	-
				↔					
MGE+CAE	(-)	2,40	(+)	+	15,2	-	+	4,57	-
				↔					
PAT/NI	-	127	+	+	15,8	-	(-)	0,19	(+)
				↔					

Légende : * : absence de données -, + : Action des facteurs contrôlés
 (-), (+) : tendance évolutive ↔ : Changement du sens de
 "F" : valeurs du F calculé dominance des blocs.

- que les pH, bien que légèrement acides, sont encore dans la fourchette admise pour le maïs ;
- que le phosphore assimilable Truog est à un niveau encore suffisant ;
- que les teneurs du potassium échangeable ayant chuté dans les deux blocs alors que le calcium et le magnésium échangeable varient comparativement peu, les rapports MGE/KE, CAE/KE et (MGE/CAE) /KE augmentaient notablement ; le déséquilibre s'accroît considérablement pendant l'intercycle.
- que le rapport entre le phosphore assimilable et l'azote total se maintient ou même augmente légèrement dans les deux blocs. Il se maintient à une valeur qui indique un équilibre entre N et P. (entre 1/20 et 1/10). Rappelons que l'échelle utilisée, pour des commodités de lecture, a été multipliée par le coefficient 100.

Dans les secondes, sont figurées les valeurs relatives des paramètres étudiés pour chacun des deux blocs par rapport à la valeur du début de l'expérimentation (79A). On peut aussi voir dans quel sens évolue tel ou tel paramètre du fait de l'action d'une mise en culture. C'est ainsi :

- que les valeurs du pH sont sensiblement identiques à celles mesurées en début d'expérimentation (PHE et PHK) ;
- que la somme des bases échangeables augmente peu ou se maintient dans les deux blocs. Par contre, lorsqu'on examine chacune des quatre principaux cations, on note des valeurs légèrement supérieures pour le magnésium (MGE) et des valeurs nettement inférieures pour le potassium (KE) à la fois par rapport à 79A (début de l'expérimentation) mais aussi par rapport à la fin du cycle précédent.

Une des conséquences principales de cette baisse du potassium est d'augmenter considérablement le déséquilibre déjà existant entre cet élément et Ca^{++} et Mg^{++} . Les valeurs des différents rapports augmentent de 17 à 43 % par rapport à la fin du second cycle (80B) alors qu'ils étaient déjà supérieurs de 5 à 10 % par rapport aux niveaux de départ (79A) eux-mêmes déjà élevés par rapport aux "normes" généralement proposées.

- que la valeur du rapport entre le phosphore assimilable Truog et l'azote total, bien qu'étant encore inférieure à celle de départ (92 à 97 %) s'en approche de nouveau. Cela semble plus dû à une diminution de l'azote qu'à une augmentation du phosphore puisque ce dernier soit diminué (bloc 2) soit se maintient (bloc 1) par rapport à fin 80 (cf. graphiques 39 et 42).

2.1.2. Effets des traitements.

C'est essentiellement le facteur "azote" (N) qui joue pendant l'inter cycle ; comme il n'y a pas eu d'apports de fertilisants au cours de cette période, on peut considérer que ce sont les arrières effets de la fertilisation du second cycle qui se font sentir. Le degré de signification est de 5 % ; bien qu'étant à la limite des valeurs des "F" théoriques à prendre en considération, les "F" calculées pour ces 3 paramètres sont nettement plus élevés que ceux des autres souvent inférieurs ou égaux à 1 et nettement non significatifs statistiquement (F théorique à 5 % = 3,37).

Si l'on classe les valeurs des tests "F" calculées, on obtient $F(\text{MGE}) > F(\text{PHK}) > F(\text{PHE})$; ceci montre que le magnésium serait le plus sensible aux arrières effets de l'azote. Mais il est également important de mettre en évidence le traitement qui est responsable de cette action ; l'examen du tableau 3 permet de constater :

1) en ce qui concerne le magnésium échangeable la dose 2 d'azote (160 kg/Ha) est celle qui agit significativement sur l'augmentation des réserves assimilables de cet élément, alors que la dose 1 (80 kg/Ha) ou aucun apport ont le même effet (différence non significative au seuil 5 %). C'est à dire les maintiennent au niveau acquis à la fin du cycle fertilisé (80B) (cf. figure 54 des annexes 5, 6 et 7),

2) pour ce qui est de l'acidité au chlorure de potassium, on constate une différence nulle entre les pH des parcelles n'ayant rien reçu ou seulement une dose moyenne (80kg/Ha) ; en revanche il y a une différence significative au seuil 5 % avec les valeurs de pH des parcelles ayant reçu la dose maximale. Ceci signifie qu'un apport important d'azote maintient le pH alors que les arrières-effets des deux autres traitements ne sont pas assez actifs pour le maintenir au niveau atteint à la fin du cycle fertilisé (cf. figure 52 des annexes 5, 6 et 7).

3) les conclusions déduites de l'étude des valeurs du tableau 3 concernant l'acidité à l'eau (PHE) sont les mêmes que celles émises pour le pH du KCl (PHK), c'est à dire que la dose N2 est la plus favorable pour garder le pH au niveau atteint précédemment. (cf. figure 52 des annexes 5, 6 et 7).

TABLEAU 3 - SIGNIFICATION DES DIFFERENCES ENTRE LES MOYENNES
DES 3 TRAITEMENTS AZOTES PRIS 2 A 2.

EFFET "AZOTE"			
EFFET "AZOTE"	Magnésium échangeable (MGE) F = 4,59	MGE(N2) - MGE(N1) = 0,392	(5 %)
		MGE(N2) - MGE(NO) = 0,5	(1 %)
		MGE(N1) - MGE(NO) = 0,108	(NS)
		plus petite différence significative à 5% = 0,353 à 1% = 0,474 à 0,1% = 0,627	
	Acidité au KCL (PHK) F = 4,26	PHK(NO) - PHK (N1) = 0,0	(NS)
		PHK(NO) - PHK (N2) = - 0,10	(5 %)
		PHK(N1) - PHK (N2) = - 0,10	(5 %)
		plus petite différence significative à 5% = 0,080 à 1% = 0,108 à 0,1% = 0,143	
	Acidité à l'eau (PHE) F = 3,54	PHE(N1) - PHE (NO) = - 0,011	(NS)
		PHE(N1) - PHE (N2) = - 0,1666	(0,1%)
		plus petite différence significative à 5% = 0,081 à 1% = 0,109 à 0,1% = 0,145	
EFFET "POTASSE"	Phosphore Assim. Total Azote total F = 3,43	PAT/NT(K2) - PAT/NT(K0) = 0,0028	(NS)
		PAT/NT(K2) - PAT/NT(K1) = 0,0045	(1%)
		PAT/NT(K0) - PAT/NT(K1) = 0,0017	(NS)
		plus petite différence significative à 5% = 0,0036 à 1% = 0,0042 à 0,1% = 0,0064	

A coté des actions du facteur contrôlé "Azote", on observe un effet significatif de la potasse sur le rapport "phosphore assimilable/azote total". L'examen du tableau 1 concernant la période 81A-80B permet de dire que c'est essentiellement l'action du potassium sur le phosphore (PAT) qui en est l'explication principale ; en effet le "F" calculé concernant l'action de K sur PAT est égale à 3,002 alors que celui concernant la même action sur l'azote (NT) est inférieur à 0,1 (seuil à 5 % = 3,37).

Le tableau 3 indique que seule dose la plus forte (K2 = 200 kg/Ha) a une action statistiquement significative au seuil 1 % par rapport à la dose moyenne (K1 = 80kg/Ha). Par contre les différences entre les moyennes des traitements K0 et K1 d'une part et K0 et K2 d'autre part ne sont pas significativement différentes. On peut cependant conclure^{que} l'apport de potassium à une action bénéfique sur l'équilibre existant entre le phosphore assimilable et l'azote totale.

Les annexes 5, 6 et 7 des graphiques et tableaux contiennent les figures 60, 62 et 66 d'une part ; 68, 70 et 74 d'autre part. Dans les premières sont représentées les valeurs absolues ; on peut ainsi se rendre compte du niveau de chacun des paramètres à un moment donné de l'expérimentation. Dans notre cas on s'aperçoit, dans les parcelles ayant reçu les 3 traitements "azoté" (quelques soient les combinaisons des deux autres facteurs contrôlés, P et K),

- que les valeurs des pH à l'eau, bien qu'ayant diminué par rapport à celles de la fin du second cycle, varient entre 6 et 6.20 ; elles sont seulement légèrement acides et cela ne pose pas de problème pour le maïs et même un certain nombre d'autres cultures (cf. figure 60);

- que les mêmes conclusions peuvent être émises pour les valeurs de pH au chlorure de potassium (cf. figure 60);

- que les teneurs en magnésium échangeable oscillent entre 16,8 et 17,5 quelques soient les apports d'azote au cours du cycle précédent (cf. figure 62) ;

- qu'enfin les valeurs du rapport (PAT/NT) tournent autour de 0.07 ; lorsqu'elles sont comprises entre 0.05 et 0.1, on considère qu'il y a nécessité d'apporter ensemble P et N pour maintenir le rapport dans cette fourchette. Il faudra surveiller cette donnée dérivée au cours des cycles suivants tout autant que les données de base (PAT et NT) car il semble que, si ce rapport augmente, c'est au moins autant du fait de l'augmentation ou du maintien des teneurs en

phosphore que de la diminution de celles de l'azote (cf. figure 61 pour NT et 66 pour PAT/NT).

Dans les secondes, sont figurées les valeurs relatives des paramètres étudiés pour des traitements par rapport à la valeur du début de l'expérimentation (79A). On peut ainsi voir l'influence de la mise en culture d'un sol sur ses composantes physiques et chimiques et dans quel sens se fait cette évolution si elle a lieu. C'est ainsi :

- que, dans l'ensemble des parcelles de l'expérimentation, quel qu'ait été le traitement azoté, les acidités sont redevenues pratiquement identiques à celles mesurées au début du premier cycle. Il est à remarquer d'ailleurs que, généralement, les valeurs de pH fluctuent peu contrairement à celles d'autres caractéristiques du sol (cf. figure 68);

- que les teneurs en magnésium échangeable restent toujours légèrement supérieures à celles du départ (6 à 8 %) et cela sans qu'aucun apport n'ait été effectué à un moment quelconque de l'expérimentation (cf. figure 70) ;

- que les rapports PAT/NT, bien que légèrement inférieurs à ceux de 79A, s'en approchent dans des proportions similaires (93 à 95 %).

2.1.3. Premières conclusions.

1) Les effets "blocs" sont tous dans le même sens, quelles que soient les données étudiées (de base ou dérivées), à l'exception du phosphore assimilable Truog (PAT). On peut écrire Bloc 1 > Bloc 2. Les valeurs des "F" calculées sont élevées et égaux ou supérieures aux valeurs des F théoriques pour moitié au niveau 1 %, pour moitié au niveau 0,1 % ; ceci signifie que les différences existant entre les 2 blocs sont hautement significatives.

Par rapport au second cycle, on peut dire qu'il y a un renforcement général de la différence entre les deux blocs, que cette différence aille dans le même sens (PHE) ou qu'il se soit produit, pour une raison quelconque, un changement de suprématie (MGE/KE). La seule exception est celle du rapport PAT/NT ; l'explication peut être trouvée dans le fait qu'au cours du second cycle la valeur du test "F" concernant le phosphore assimilable (PAT) était très élevée.

2) Les arrières-effets des facteurs contrôlés concernent essentiellement l'action de l'azote, accessoirement le potassium. Le facteur "azote" joue avec sa dose la plus forte soit $N_2 = 160 \text{ kg/Ha}$; d'une part elle favorise l'augmentation du magnésium échangeable, d'autre part elle permet d'éviter que le pH ne chute.

Quant au facteur "potassium", il agit également grâce à l'apport le plus important soit $K_2 = 200 \text{ kg/Ha}$.

On peut donc dire qu'au cours de cet intercycle qui suit le 1er cycle fertilisé les arrières-effets se sont faits sentir au niveau des doses les plus élevées des deux facteurs contrôlés N et K.

3) Lorsqu'on considère les valeurs absolues des paramètres du sol qui ont vu leur évolution dépendre des arrières-effets des facteurs contrôlés, on s'aperçoit qu'hormis le potassium échangeable dont les variations se notent au niveau des 2 blocs, les variations enregistrées ont été relativement faibles et que les teneurs ou valeurs sont encore à des niveaux tout à fait satisfaisants non seulement pour le maïs mais pour d'autres cultures.

4) Enfin en considérant les graphiques montrant la situation de ces mêmes paramètres par rapport à celle du début de l'expérimentation, c'est à dire en examinant les valeurs relatives, il apparaît qu'elles oscillent autour des valeurs de référence (79A) sauf pour le potassium et les rapports qui font intervenir cet élément (MGE/KE , CAE/KE , $(MGE+CAE)/KE$).

Comme les conclusions du premier et du second cycle concernant les plantes laissent à penser que la fertilité naturelle du sol de Bourail est bonne (action des facteurs contrôlés nulle ou très faible, non significative statistiquement), on peut penser que les valeurs des caractéristiques du sol sont encore situées à un niveau encore suffisant. Il s'agit cependant de suivre attentivement leurs évolutions pour éviter qu'elles ne baissent trop et passent en dessous d'un seuil, en deça duquel il sera difficile de les ramener à un niveau satisfaisant.

2.2. Statut du sol à la fin du troisième cycle.

L'apport des fertilisants a été réalisé après les prélèvements du début du troisième cycle, au moment du dernier travail de préparation qui précède 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 les effets "blocs" mais également l'action effective (et non des arrières-effets éventuels comme cela a été fait au début du cycle) des autres facteurs contrôlés que sont l'azote, le phosphore et la potasse. Les tableaux 1 et 2 de l'annexe 2 récapitulent les résultats obtenus en utilisant l'analyse de variance sur les paramètres suivis régulièrement à chaque cycle.

De même les graphiques des annexes 3 et 4 en ce qui concerne les blocs et 5, 6 et 7 en ce qui concernent les facteurs contrôlés permettront de mieux se rendre compte des modifications enregistrées et notamment leurs sens (diminution ou augmentation) et de leur importance, les chiffres parlant moins facilement que des figures.

Enfin en annexe 9 sont réunis les listings complets des analyses de variance ayant trait aux paramètres sur lesquels les facteurs contrôlés ont une action statistiquement significative (test "F").

2.2.1. Caractéristiques physiques

* Taux d'agrégats (fig. 51)

Seul celui mesuré après un prétraitement au benzène a subi une influence des facteurs contrôlés, en l'occurrence l'azote. Le seuil de signification est 5 % ; la valeur du F calculé est cependant très près de la valeur du F théorique au seuil 1 % ; on peut donc en déduire que le facteur agit effectivement sur le paramètre étudié.

Si l'on recherche quel est le niveau de fertilisation qui agit, en utilisant le test "t" de Student-Fisher de comparaison des moyennes, on s'aperçoit, comme nous le montrent les résultats ci-dessous, qu'il y a une différence significative statistiquement entre les taux moyens d'agrégats des parcelles ayant reçu la fertilisation moyenne N1 et ceux des parcelles ayant reçu les traitements extrêmes.

$$\text{AGRB}(N1) - \text{AGRB}(\text{No}) = 1.689 \text{ (1 \%)*}$$

$$\text{AGRB}(N1) - \text{AGRB}(N2) = 1.467 \text{ (5 \%)}$$

$$\text{AGRB}(\text{No}) - \text{AGRB}(N2) = - 0.222 \text{ (NS)}$$

(* seuil de signification des différences calculées/différences théoriques).

* Densité apparente (fig. 52).

C'est le facteur contrôlé "phosphore" qui agit sur la densité apparente (Da) avec un degré de signification de 5 %. La dose de fertilisation qui agit effectivement est la dose P2 c'est à dire 160 kg/Ha de P_2O_5 ; en effet, comme le montre les résultats ci après, la seule différence statistiquement significative est celle existante entre la densité apparente des parcelles ayant reçu la fertilisation maximum et celle des parcelles fertilisées avec la dose moyenne. Comme il y a une différence presque significative entre les parcelles Po et P1, il est difficile d'une part de dire si P2 agit plus que Po, d'autre part d'expliquer l'action de ce traitement chimique sur un paramètre physique. L'étude ultérieure des covariables nous permettra probablement de se rendre compte si cette action n'est pas une sorte d'artefact provoqué par les variations d'autres paramètres liés à la Densité Apparente.

$$Da(P2) - Da(Po) = 0.0138 \quad (NS)$$

$$Da(P2) - Da(P1) = 0,0472 \quad (1\%)$$

$$Da(Po) - Da(P1) = 0.0334 \quad (NS) \quad (t \text{ à } 5\% = 0.0340).$$

* Porosité totale (fig. 55)

Comme pour la densité apparente l'action des facteurs contrôlés se manifeste sur la porosité total (PoT) par l'intermédiaire du phosphore, au niveau 5 %. La recherche de la fertilisation "active" nous amène à faire les mêmes remarques que précédemment, à savoir que statistiquement la fertilisation maximum P2 agit plus que P1 (80 kg/Ha) mais n'a pas une action prépondérante par rapport à l'absence d'apport de fertilisants (Po).

$$Pot (P2) - Pot (Po) = - 0,69 \quad (NS)$$

$$Pot (P2) - Pot (P1) = - 1,90 \quad (5\%)$$

$$Pot (Po) - Pot (P1) = - 1,22 \quad (NS) \quad (t \text{ théorique à } 5\% = 1,35)$$

Ceci montre que P2 diminuerait la porosité totale alors que P1 la maintiendrait. Là aussi l'explication logique de cette action est difficile à mettre en évidence ; par contre le fait que l'action des facteurs contrôlés se fassent dans le même sens que pour la densité apparente est logique, les deux étant liés par la relation.

$$Pot \% = 100 \left(1 - \frac{Da}{Dr} \right)$$

dans laquelle Pot varie en sens inverse de Da , la valeur de Dr restant pratiquement constante et apparaissant comme une caractéristique du sol.

* Réserve utile en eau à pF 2.5 (fig. 55)

L'action des facteurs contrôlés sur ce paramètre (RU 2,5) s'exprime encore par l'intermédiaire de l'apport de la fertilisation phosphatée.

L'étude des comparaisons des moyennes à l'aide du test "t" témoigne d'une action similaire à celle mise en évidence pour la densité apparente ; la dose maximale (P2) augmente plus la réserve hydrique à pF 2.5 par rapport à la dose moyenne (P1) mais sans que l'on puisse dire qu'elle agit plus que l'absence de fertilisation.

$$RU(P2) - RU(P0) = 0.46 \quad NS$$

$$RU(P2) - RU(P1) = 1,58 \quad 5\%$$

$$RU(P0) - RU(P1) = 1,12 \quad NS \quad ("t" \text{ théorique à } 5\% = 1,26)$$

Les variations de ce paramètre vont dans le même sens que celles de la densité apparente (Da). Ceci s'explique logiquement puisque on a la relation :

$$RU \text{ 2.5} = \frac{Da}{10} (H_2O \text{ 2.5} - H_2O \text{ 4,2}) * \Delta H$$

Même si les seuils de signification sont différents (1 % pour Da et entre 5 % et 1 % pour RU 2.5), le fait même qu'il y ait une influence du même facteur contrôlé peut laisser percevoir que les valeurs des humidités aux 2 pF considérés varient faiblement et peuvent être assimilées à des constantes. Ceci pourra être vérifié en fin d'expérimentation, de nouvelles mesures devant être réalisées aux fins de comparaison avec les résultats obtenus au début du premier cycle.

2.2.2. Caractéristiques chimiques.

* Les acidités (fig. 31), que cela soit celles mesurée à l'eau (PHE) ou au chlorure de potassium (PHK), ne subissent aucune action des trois facteurs contrôlés. Par contre, en ce qui concerne l'effet "Bloc", on enregistre des valeurs "F" calculées très fortes de sorte que les moyennes des deux blocs sont significativement différentes aux seuils de 0,1 % pour le PHE et de 1 % pour le PHK (cf. tableau 1); on peut écrire dans les deux cas "Bloc 1 > Bloc 2". On retrouve le même sens de variations que lors des périodes précédentes, ce qui permet de conclure que la différence entre les blocs se maintient pour le moins.

* L'azote total subit une légère action du facteur contrôlé "azote" (F calculé 3,55 et F. théorique à 5 % = 3,37). La comparaison des moyennes des parcelles recevant chacun des 3 traitements montre que l'absence d'apport d'azote ou un apport moyen (80 kg/Ha) ont une action significative identique au seuil 5 % par rapport à la dose N2 (160 kg/Ha).

NT (No) - NT(N1) = - 0.016 (NS)

NT (No) - NT(N2) = - 0.070 (5%)

NT (N1) - NT(N2) = - 0.054 (NS)

La représentation graphique (cf. annexe 5, 6, 7 figures 53) permet de se rendre compte aisément de l'action du facteur "azote" et surtout de son sens et de son intensité; on peut également estimer les niveaux moyens des réserves assimilables en valeurs absolues (fig. 67) mais aussi apprécier le niveau de ces derniers par rapport aux valeurs initiales (fig. 69). On remarque qu'en dépit de l'action qu'engendre la dose la plus élevée d'azote, non seulement on ne peut espérer revenir au niveau du début de l'expérimentation mais encore on ne maintient qu'à peine le niveau atteint à la fin de l'intercycle. Ceci signifierait soit que les exportations (grains) et les immobilisations (tiges, feuilles et racines des maïs) sont suffisamment importantes pour absorber la quantité d'azote facilement assimilable apporté en début de cycle et une partie de l'azote "réservé" du sol ; soit que les quantités exportées et immobilisées sont égales ou inférieures à ce que la plus forte dose de fertilisation fournie au sol ce qui aurait pour conséquence de penser qu'une partie de l'azote apportée migre hors du sol soit sous forme gazeuse soit par lessivage en profondeur.

Ceci nous amène à conclure momentanément : ou la dose N2 n'est pas suffisante pour satisfaire les besoins de la culture et maintenir le nouvel équilibre atteint ; ceci amènerait alors à conseiller des apports d'azote organique en plus de l'azote minérale directement assimilable ; ou, même si on augmente les apports d'azote, les composantes du rendement ne subissant aucune action du facteur N selon les conclusions de mon collègue agronome, les entraînements hors du sol qui ont lieu pendant le cycle sont trop importants pour permettre de prendre en compte une partie de l'apport sous forme minérale.

* Le phosphore assimilable Truog (PAT) subit, quant à lui, une influence de l'interaction "phosphore * Potasse" sans pour autant que l'un ou les deux facteurs n'agissent séparément. Le degré de signification est compris entre 5 % et 1 %. (F calculé = 3,29 ; F théorique 5 % = 2,74 ; F théorique 1 % = 4,14). Sur la figure 53 des annexes 5, 6, 7 sont représentées les différences absolues de 3 traitements choisis parmi les 9 combinaisons (les 2 extrêmes et la médiane).

Le classement des différences entre les valeurs absolues des traitements est le suivant :

P2K2 = 28,8	P2K1 = 12,7	P0K0 = 4,5
P1K0 = 26,3	P2K0 = 9,7	P0K1 = - 6,8
P1K1 = 18,5	P0K2 = 5,2	P1K2 = - 7,7

Les comparaisons de ces différences prises deux à deux sont résumées dans le tableau ci-après :

P2K2 - P1K1 = 36,5 (1 %)
P2K2 - P0K1 = 35,7 (1 %)
P2K2 - P0K0 = 24,3 (5 %)
P2K2 - P0K2 = 23,7 (5 %)

P1K0 - P1K2 = 34,0 (1 %)	}	ppds à 5 % = 23,6
P1K0 - P0K1 = 33,2 (1 %)		ppds à 1 % = 31,7
		ppds à 0,1 % = 41,9

P1K1 - P1K2 = 26,3 (5 %)
P1K1 - P0K1 = 25,3 (5 %)

Toutes les autres ne sont pas significatives.

On s'aperçoit donc que les 5 premiers traitements ne sont pas significativement différents les uns des autres. Ils correspondent, à une exception près, aux combinaisons comportant un apport de phosphore (P1 au P2) et cela quelle que soit la dose "potasse".

Parmi ces 5 traitements seulement trois sont significativement différents des 4 autres comme le montrent les comparaisons résumées ci-avant. Mais une seule combinaison "P x K" peut être considérée comme plus "active" que les autres ; c'est celle qui apporte les doses maximales de phosphore et de potasse (P2K2).

L'examen de la figure 61 permet d'estimer les niveaux moyens des réserves assimilables en valeurs absolues, et de se rendre compte que, si l'on avait comparé les valeurs absolues en fin de cycle au lieu d'opérer sur les différences entre deux instants, il n'y aurait pas eu le même classement des combinaisons PK et certainement pas les mêmes actions des facteurs contrôlés.

La figure 69 indique que, en dépit de l'augmentation constatée pour la majorité des 9 traitements PK à la fin de 1981 (81B) par rapport au début de la même année (81A), les niveaux des teneurs en phosphore sont inférieurs à ceux du début de l'expérimentation (79A). Le gain en % le plus important est celui acquis grâce au traitement P2K2 (14 %).

Ceci nous amène à formuler une conclusion similaire à celle émise lors du cycle précédent à savoir : ou la dose P2 n'est pas suffisante pour satisfaire les besoins des plantes et reconstituer la réserve assimilable, ou, même si on augmente la fertilisation, la rétrogradation qui a lieu pendant le cycle est trop importante pour permettre de prendre en compte une partie de l'azote.

* Bases échangeables.

Seul le potassium échangeable subit une action des facteurs contrôlés ; pour les autres cations (Ca, Mg et Na), un effet "bloc" se manifeste.

Le Tableau 4 permet de voir s'il y a eu un effet "bloc" pendant le cycle cultural et d'en apprécier l'effet ; puis de comparer ce dernier avec celui qui a été calculé au cours de l'intercycle précédent.

paramètres	81A - 81B		81A - 80B	
	F	sens	F	sens
CAE	9,79 **	B1 > B2 -	11,33 **	B1 > B2 -
MGE	22,1 ***	B1 > B2 -	8,03 **	B1 > B2 +
NAE	53,1 ***	B1 > B2 +	13,9 ***	B1 > B2 -

Plusieurs constatations sont à faire :

- les effets sont plus importants ou au moins égaux pendant le cycle cultural que pendant l'intercycle; donc l'effet bloc se renforce avec la fertilisation, la culture et le travail du sol.

- pour chaque paramètre, le bloc 1 est "supérieur" au bloc 2.

- il y a une inversion de sens de variation des données (augmentation ou diminution des valeurs moy. lorsqu'on passe de l'effet "intercycle" à l'effet "cycle cultural"; ceci est matérialisé dans le tableau 4 par le signe de la colonne "sens".

Le potassium subit l'action du facteur contrôle "potasse", ce qui semble logique de prime abord. L'effet n'est pas très important puisque la valeur calculée du test "F" est seulement légèrement supérieure à la valeur théorique à 5 % retenue comme valeur minimale ($F_c = 3,59$; $F_t = 3,37$).

L'application du test "t" de comparaison des moyennes des différences donne les résultats suivants :

KE (K2) - KE (K1) = 0,027	NS ($\approx 5\%$)
KE (K2) - KE (K0) = 0,040	5% ($\approx 1\%$)
KE (K1) - KE (K0) = 0,013	NS

avec ppds à 5 % = 0,031 ; ppds à 1 % = 0,042 ; ppds à 0,1 % = 0,055

On constate que la dose K2 (200 kg/ha) améliore les réserves en potassium échangeable alors que l'absence de fertilisation (K0) ou un apport moyen (K1 = 100kg/Ha) n'ont pas d'effet significativement différents.

* Variables dérivées. Nous ne détaillerons pas l'action des facteurs contrôlés sur ces dernières (calculées à partir des variables de base dont les valeurs sont directement mesurées ou calculées). Il est cependant possible d'avancer :

- que la somme des bases échangeables est caractérisée par un effet "bloc" très important, allant dans le même sens ($B_1 > B_2$) que celui de ses composantes, ce qui est logique (cf. fig. 34, 37 et 40) ;

- que les rapports entre le potassium échangeable et les autres échangeables (MGE/KE, CAE/KE) ($(MGE + CAE)/KE$) présentent

. un effet "bloc" au seuil de signification de 5 % qui est explicable par les effets "bloc" constatés au niveau des données de base (MGE et CAE) ; on a encore bloc 1 > bloc 2 comme cela était prévisible (cf. figures 33, 34 ; 37, 38 ; 40, 41).

. même action du facteur contrôlé "potasse" qui se comprend facilement quand on se rappelle que ce même facteur contrôlé agit sur le paramètre potassium, dénominateur commun de ces données dérivées. Le niveau est le même c'est à dire 5 % et la dose qui agit le plus dans le sens d'une diminution des valeurs de ces rapports (donc d'un rééquilibrage des cations au sein du complexe absorbant) est également la plus forte c'est à dire K2, comme le montrent les résultats suivants :

$R 1 = \frac{CAE}{KE}$	$R 2 = \frac{MGE + CAE}{KE}$
R1 (K2) - R1 (K1) = - 3,33 (NS)	R2 (K2) - R2 (K1) = - 6,59 NS
R1 (K2) - R1 (K0) = - 5,85 (1 %)	R2 (K2) - R2 (K0) = - 11,14 5 % (1%)
R1 (K2) - R1 (K0) = - 2,52 (NS)	R2 (K1) - R2 (K0) = - 4,45 NS
avec ppds à 5 % = 4,36 ppds à 1 % = 5,86 ppds à 0,1 % = 7,75	avec ppds à 5 % = 8,73 ppds à 1 % = 11,74 ppds à 0,1 % = 15,53.

La figure 56 donne la possibilité d'observer cet effet significatif de diminution; la figure 64 donne les valeurs absolues de ces rapports qui sont cependant encore élevées ; enfin la figure 72 montre que l'apport de potassium à la dose la + élevée permet de se maintenir à un niveau voisin de l'état d'équilibre de départ, comme cela était déjà le cas au cycle précédent (80B). Il s'avère donc nécessaire , même s'il n'y a pas d'action du facteur potasse sur les composantes du rendement (comme cela a été constaté), de maintenir des apports importants pour éviter soit une diminution de la réserve en K échangeable soit une augmentation trop importante des rapports avec les cations bivalents (Ca^{++} et Mg^{++}) et donc des déséquilibres déjà existants.

- que le rapport du phosphore assimilable Truog sur l'azote total subit l'action d'une part de l'azote et du phosphore, d'autre part de la combinaison de premier ordre "P * K". Les degrés de signification sont tout les trois au niveau 5 %.

Si l'on examine les différences entre les résultats fournis par traitements simples, on s'aperçoit que la dose maximale d'azote (N2) fait diminuer le rapport alors que les deux autres traitements l'augmentent du même ordre de grandeur ; quant à l'action du phosphore, elle se caractérise par une augmentation de la valeur du rapport avec la dose P2. Ceci semble logique comme résultats et, les effets des deux actions se compensant, le rapport PAT/NT se

maintient à un niveau considéré comme satisfaisant par différentes autres expérimentations (en Afrique notamment).

L'étude des différences entre les neuf combinaisons "P*K" permet de constater :

. l'action logique d'un apport de fertilisation phosphatée quelle que soit l'apport combinée de potasse. Comme le montre le tableau ci-dessous (P1 ou P2 par rapport à PU).

. la meilleure efficacité de la dose la plus forte P2 quand elle est combiné avec la dose identique de potasse (P2*K2). Bien que non significativement différentes des 3 doses suivantes du point de vue statistique, son action est plus efficace que celles-ci quand on la compare avec les 5 autres combinaisons.

Tableau 4 - Données relatives au rapport du phosphore assimilable Truog sur l'azote total.

Classement	P2K2 (PAT/NT) =	0. 0138
	P1K0 (") =	0. 0116
	P2K1 (") =	0. 0088
	P1K1 (") =	0. 0086
	P2K0 (") =	0. 0055
	POK2 (") =	0. 0040
	POK0 (") =	0. 0031
	POK1 (") =	0. 0001
	P1K2 (") =	-. 0017
Effets		
	P2K2 (PAT/NT) - P1K2 (PAT/NT) =	0.0155 (0,1 %)
	" - POK1 (") =	0.0137 (1 %)
	" - POK0 (") =	0.0107 (5 %)
	" - POK2 (") =	0.0098 (5 %)
	" - P2K0 (") =	0.0083 (5 %)
	" - P1K1 (") =	0.0052 (NS)

P1K0 (PA1/NT) - P1K2 (PAT/NT) = 0.0133 (1 %)
 " - POK1 (") = 0.0115 (1 %)
 " - POK0 (") = 0.0085 (5 %)
 " - POK2 (") = 0.0076 (NS)

P2K1 (PAT/NT) - P1K2 (PAT/NT) = 0.0105 (5 %)
 " - POK1 (") = 0.0087 (5 %)
 " - POK0 (") = 0.0056 (NS)

avec ppds à 5 % = 0.0081
 ppds à 1 % = 0.0109
 ppds à 0,1 % = 0.0159

2.2.3. Premières conclusions.

Au cours de ce troisième cycle cultural, les effets "blocs" existant au cours de l'intercycle ont pour la plupart persisté et avec la domination du même bloc par rapport à l'autre. Ils se sont renforcés lorsque les apports de fertilisants n'intervenaient pas directement (PHE, MGE, NAE) ; par contre les valeurs des tests "F" étaient plus faibles, et donc la différence entre les deux blocs moins sensibles, lorsque les valeurs des paramètres considérés pouvaient être affectés par les apports (PAT, KE, et les différents rapports composants l'un ou l'autre comme MGE/KE par exemple). Dans ce dernier cas, il y a une sorte de nivellement des valeurs des 54 parcelles ; les blocs ne font plus apparaître la variabilité du terrain qu'ils avaient mis en évidence en début d'expérimentation.

Les influences des facteurs contrôlés ont été provoqués d'une façon équivalente par l'azote (3), le phosphore (4) et la potasse (3). Ce degré de signification est le même pour tous les effets ; il est au niveau 5 %. Ceci pourrait signifier que les facteurs contrôlés agissent moins fortement qu'au cours du premier cycle fertilisé (2ème année) mais sont tout de même efficaces (contrairement à ce qui a été observé dans l'étude des paramètres "plantes"). Un seul effet est à signaler au niveau des interactions de premier ordre (PK) au seuil 5 % également.

En dehors du phosphore qui agit sur le rapport phosphore assimilable/azote total (PAT/NT) mais surtout sur des paramètres physiques (Densité apparente, DA, et les paramètres dérivés qui y font appel comme Porosité totale - PoT - et réserve en eau utile - RU 2.5), les deux autres facteurs n'agissent que sur les paramètres avec lesquels leurs liens sont connus ou évidents. (K sur le potassium échangeable KE et les rapports contenant KE ; N sur le taux d'agrégat au benzène - AGRB - , l'azote total NT et le rapport PAT/NT déjà cité pour le facteur P).

Il semble donc que les seuls effets constatés assez difficiles à expliquer sont ceux mis en évidence avec le phosphore. Il sera intéressant de voir si cette action se confirme au cours du cycle suivant.

Si l'on effectue un rapide parallèle - qui sera repris dans les conclusions générale - il s'avère :

- que le facteur azote n'agit plus sur les acidités (PHE, PHK) et le magnésium échangeable (MGE)
- que le facteur phosphore a cessé d'influer sur le carbone total (CT) et l'activité biologique totale (ABT)
- que le facteur potasse ne se conduit plus comme un modificateur du phosphore assimilable (PAT)
- enfin que chacun n'agit plus, ou presque, que sur le ou les paramètres avec lesquels il a des relations privilégiées.

3. ETUDE DE L'EVOLUTION DES NIVEAUX DES CARACTERISTIQUES ETUDIES.

Nous venons de nous rendre compte des conséquences de l'action des facteurs contrôlés sur les caractéristiques physiques et chimiques de ce sol peu évolué d'apport. Elles ont leur importance même si l'action elle-même est moins forte qu'au cours du cycle fertilisé précédent. En effet les valeurs de certains paramètres se maintiennent, d'autres s'améliorent sensiblement par rapport à leurs niveaux précédents sans jamais pourtant retrouver, encore, ceux du début de l'essai.

Il s'agit maintenant de comparer les valeurs prises par les différents paramètres au début puis à la fin de ce 3ème cycle avec les valeurs de ces mêmes paramètres au cours du cycle précédent. Ceci devrait permettre de mesurer l'influence éventuelle d'un arrière effet d'une culture (intercycle) puis l'influence globale du travail du sol et de la mise en place d'une culture avec fertilisation même si les facteurs contrôlés n'ont pas agi significativement ; il se peut en effet qu'on ait des modifications importantes d'une période à l'autre mais sans que celles-ci soient différentes d'une parcelle à l'autre.

3.1. Résultats observés au début du troisième cycle.

L'apport de fertilisants a été réalisés après les prélèvement du début de cycle, au moment du dernier travail de préparation qui précèdent le semis. De ce fait l'évolution éventuelle qui pourra être observée entre la fin du second cycle et le début du troisième ne serait due qu'à l'enfouissement des cannes de maïs et de l'engrais vert et aux différents travaux culturaux exécutés pendant l'intercycle.

Nous pourrions donc nous contenter de comparer les valeurs des moyennes générales pour avoir une idée de l'évolution des valeurs des différents paramètres. Mais il ne faut pas négliger les arrières effets possibles des fertilisations apportées au cours du second cycle. L'étude de l'action des effets des facteurs contrôlés à montrer que ces arrières effets pouvaient ne pas être négligeables. Aussi serons nous amenés à considérer aussi l'évolution au niveau des différents traitements, ce qui permettra de faire la liaison avec l'étude des effets des fertilisations apportées au cours de ce troisième cycle lorsque seront examinées les données de fin de cycle.

Dans les annexes 10 et 11, on trouvera une série de graphiques (101 à 111) qui illustrent ce que l'on démontre par les chiffres mais qui aident aussi à 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. Si la différence est statistiquement significative (test "t" de Student-Fisher), une, deux ou trois étoiles (*) seront placées sous le batonnet schématisant la différence calculée entre les valeurs du paramètre aux 2 périodes considérées ; cela permettra de savoir si les moyennes sont significativement différentes aux seuils 5, 1 ou 0,1 %.

3.1.1. Phosphore, azote, carbone.

→ *phosphore assimilable Truog*. Aucune variation significative statistiquement n'a pu être mise en évidence pendant l'intercycle, que ce soit au niveau de la moyenne générale ou de celle des traitements. Cependant, des différences n'en existent pas moins et ne sont pas négligeables. Ainsi on constate :

- . une légère diminution au niveau de la moyenne générale comme le montre le tableau 5 ;

- . que dans la majorité des parcelles l'arrière effet des traitements mis en place au début du 2ème cycle et l'effet de l'enfouissement des cannes de maïs d'une part (restitution des immobilisations des parties aériennes) et de l'engrais vert d'autre part n'ont eu que peu de conséquences favorables sur les teneurs du phosphore assimilable Truog. En effet que ce soit au niveau des traitements simples

TABLEAU 5 - COMPARAISON DES MOYENNES DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES
ET CHIMIQUES AU COURS DES DIFFERENTS CYCLES. (Moyenne Générale).

	Sigle des paramètres	Numéros des paramètres	Fin de cycle 1980 B	Début de cycle 1981 A	Comparaisons des \bar{x}	
					"t" observé	signification
Données physiques de base	IS	211 B	-	-		
	AGRA	212 B	-	-		
	AGRE	213 B	-	-		
	AGRB	214 B	-	-		
	Da	221 B	-	-		
	ABT	225 B	-	-		
	Hp	226	-	-		
Données chimiques de base	PHE	228 B	6.209	6.135	2.57	*
	PHK	230 B	5.143	4.998	7.79	***
	CT	232 B	27.380	24.511	8.70	***
	NT	234 B	2.592	2.413	8.56	***
	PAT	236 B	171.130	187.352	1.42	NS
	CAE	241 B	18.143	17.943	0.80	NS
	MGE	243 B	16.731	17.130	2.99	**
	KE	245 B	0.429	0.334	8.15	***
	NAE	247 B	0.191	0.135	5.35	***
Données physiques et chimiques dérivées	PT	202 D	-	-		
	CT/NT	208 D	10.559	10.142	3.60	***
	SBE	210 D	35.498	35.538	0.12	NS
	S/T	212 D	87.795	87.883	0.14	NS
	MGE/CAE	216 D	0.928	0.960	2.50	*
	MGE/KE	218 D	40.203	52.300	9.07	***
	CAE/KE	220 D	43.579	54.826	7.56	***
	PAR/NT	224 D	0.066	0.069	3.86	***

t théorique : seuil 5 % : 1,98

Seuil 1 % : 2,63

Seuil 1 ‰ : 3,39

(8 cas sur 9) et des interactions de premier ordre (20 combinaisons sur 27), la majorité des valeurs a plus ou moins baissé pendant l'intercycle de six mois.

- que l'on retrouve, au niveau des combinaisons à 3 éléments, la tendance évolutive qui était déjà apparue au niveau des interactions de premier ordre et des traitements simples (17 cas sur 27).

N1P1K2 (+ 22,5 ppm) est composé de :

N1P1(1) , N1K2(2) , P1K2(1)
 (+ 6 ppm) (+ 1,1 ppm) (+ 11,7 ppm)

et NOP1K1 (- 25,5 ppm) est composé de :

NOP1(9) , NOK1(9) , P1K1(9)
 (-10,9 ppm) (-12,2 ppm) (-15,7 ppm)

[Rem. N1P1 = combinaison ; (1) = classement du traitement dans l'ordre décroissant) ;
 (+ 6ppm) gain ou perte].

→ Carbone total.

Les facteurs contrôlés n'ont pas eu d'arrière-effet sur les teneurs en carbone total des différentes parcelles. Cependant lorsqu'on examine les valeurs de ce paramètre à la fin de l'intercycle et qu'on les compare avec celles qu'il avait en début de 1981, on s'aperçoit d'abord qu'on a une diminution générale du taux de carbone total que ce soit pour la moyenne générale ou les moyennes des traitements ; ensuite

- que les moyennes générales sont nettement différentes l'une de l'autre au seuil 0,1 % (cf. tableau 5)

- que, comme le montre la figure 103 de l'annexe 10 et 11, les moyennes des 9 traitements simples (N, P ou K) sont toutes très significativement différentes au seuil 0,1 %. Si l'on essaye de classer les doses des fertilisants dont les arrière-effets auraient entraîné le moins de perte, on aboutit aux inégalités suivantes :

N2 > N1 > N0

P0 > P1 > P2

K2 > K1 > K0

- que sur le même schéma, en examinant les différences existantes entre les traitements lorsqu'on fait varier deux facteurs contrôlés (interaction de 1er ordre), les diminutions non significatives et donc les plus faibles ($< 2\text{‰}$) sont celles provoquées par les combinaisons

N2P1, N2P0, N1P0
 N0K2, N2K2, N1K1
 P0K2, P0K1, P1K2, P2K2

Par contre sur les parcelles ayant reçu, au début du cycle fertilisé précédent, les plus fortes fertilisations en phosphore, les diminutions au cours de l'intercycle apparaissent les plus élevées. Il en est de même sur les parcelles n'ayant pas reçu d'azote. Ces pertes se situent entre 3 et 4 ‰, soit environ 9T/ha sur les 20 premiers centimètres.

Une conclusion qui s'impose est la nécessité de rajouter une fumure organique du type fumier qui permettra d'améliorer le stock organique du sol, d'aider la bonne décomposition des cannes de maïs, d'activer la vie microbienne et enfin d'abaisser l'indice d'instabilité structurale du sol en remontant le taux des agrégats stables au benzène. Cette caractéristique physique est en effet très intimement liée au taux de carbone total.

→ Azote total.

Comme les teneurs en carbone total, celles de l'azote total n'ont subi aucune arrière effet des fertilisations apportées au cycle précédent (F. calculés pour les facteurs contrôlés très nettement inférieurs à ceux de F. théoriques).

Par contre si l'on regarde avec attention d'une part le tableau 5, d'autre part la figure 104 des annexes 10 et 11, on se rend compte :

- que les moyennes générales sont différentes l'une de l'autre au seuil 0,1 % et qu'il y a une diminution ;

- que tous les traitements, simples ou de première interaction, provoquent également des pertes en azote total ; les moyennes sont toutes significativement différentes. Ceci signifie que, quel que soit le traitement appliqué au cours du cycle précédent, le repos du sol au cours de l'intercycle après enfouissement des cannes et le semis d'une plante de couverture non seulement n'ont pas permis la

reconstitution du stock azoté mais encore à entraîner une diminution de ce dernier. Cela voudrait dire que la plante de couverture a utilisée une partie de l'azote sans que les cannes de maïs ne restituent le leur (mauvaise décomposition ? entraînement par lessivage ?).

Il faudra voir si, à la fin du 3ème cycle, après un nouvel apport d'azote et la décomposition de la plante de couverture, les niveaux azotés se sont améliorés, en tenant compte des exportations de la culture-test.

Si l'on analyse l'action de chaque traitement (cf. figure 108), on arrive à la conclusion que les pertes oscillent entre 0,12 et 0,24 ‰ soit 360 kg et 720 kg d'azote à l'hectare sur 20 cm (profondeur explorée pour les racines). Ces quantités n'ont rien de comparables avec ce que l'on peut ajouter par fertilisation et il semble que l'action des apports par les engrais ne doive être considérée qu'au niveau de la plante au cours du cycle et non comme une restitution qui ne pourrait se faire, comme pour le carbone, que par apport d'amendements organiques. Ce dernier redonnerait au sol des réserves d'azote libérables lentement sans parler des autres intérêts déjà évoqués à propos de l'étude du carbone total.

→ PAT/NT.

Les moyennes générales sont difficilement utilisables puisqu'on a constaté un arrière-effet des fertilisations en mettant en évidence une action du facteur contrôle "potasse". La majorité des traitements simples (9) et à deux facteurs (25/27) permettent une augmentation du rapport. Si l'on considère la figure 111, l'influence de la potasse apparait, ce qui est logique puisqu'on travaille sur les différences entre les moyennes dans les deux cas. Mais, même si au niveau des facteurs contrôlés, on ne peut statistiquement mettre en lumière une interaction de première ordre, par contre quand on compare les moyennes on constate que la dose K2 associée à P1 provoque une différence significative au seuil 1 %. Il semble que la dose forte (P2 = 160 kg phosphore/ha) soit un peu moins efficace par rapport à P1.

En conclusion, il semble que les gains plus ou moins importants qu'on peut aussi montrer soient dus d'abord à une perte d'azote. En effet les teneurs en phosphore ne sont pas du tout significativement différentes alors que toutes celles d'azote le sont, entre fin 80 et début 81.

3.1.2. Acidité - Bases échangeables.

→ PHE, PHK.

L'action des arrières-effets des facteurs contrôlés, rappelons le, a été plus ou moins importante selon qu'on examinait l'acidité à l'eau ou au chlorure de potassium. Le même facteur était mis en cause, à savoir l'azote. Elle se situait toujours cependant au seuil 5 %.

Lorsqu'on compare les moyennes générales, celles de l'acide à l'eau (PHE) sont certes statistiquement différentes mais au seuil 5 %, alors que celles de l'acidité au chlorure de potassium (PHK) le sont au seuil 0,1 %. De plus il y a une diminution générale de l'acidité.

Ces constatations se retrouvent lorsqu'on parcourt les quatre graphiques des figures 101 et 102. Au niveau des comparaisons des traitements simples et des interactions de première ordres, seuls apparaissent significativement différents les moyennes (PHE) des parcelles ayant eu les traitements N1, N0, P0 ou NOP1. et au seuil 5 %.

Par contre les moyennes PHK sont différentes au seuil 5, 1 ou 0,1 % selon les cas mais non seulement pour tous les traitements simples mais aussi pour la majorité des interactions à l'exception de celles comportant la dose la plus forte d'azote (N2).

Cela confirme donc l'action prépondérante de l'azote sur la diminution ou le maintien des valeurs de l'acidité dans les parcelles de l'expérimentation.

Certes cela n'aura que peu d'influence actuellement sur la croissance de la plante-test utilisée qui est le maïs car elle accepte des valeurs d'acidité à l'eau comprise entre 5,5 et 8. Mais l'examen détaillée des valeurs moyennes de chaque traitement permet de constater que, même si les facteurs contrôlés n'ont pas une influence statistiquement mise en évidence, il peut y avoir des évolutions des teneurs moyennes pour certains traitements qu'il est intéressant de connaître.

→ CAE.

Les modifications, en diminution, sont faibles et non significativement différentes que ce soit au niveau des moyennes générales ou des traitements.

→ MGE

Au niveau des facteurs contrôlés on avait constaté un arrière-effet au seuil 5 % de l'azote ; la dose la plus forte ($N_2 = 160$ kg/Ha) était celle qui agissait effectivement.

L'examen de la figure 105 permet de confirmer cette action et de mettre en évidence une différence significative au seuil 5 % entre les valeurs moyennes des parcelles ayant reçu le traitement P1 (80 kg/Ha) même si aucun arrière-effet n'a pu être mis en évidence dans l'analyse de variance. Par contre aucune différence significative n'apparaît lorsqu'on compare les moyennes des parcelles sur lesquelles ont été testées les interactions de 1er ordre (NP, NK et PK).

→ KE

Aucun arrière-effet des facteurs contrôlés n'avait été mis en évidence. Par contre comme le montre la figure 106, il est indubitable qu'il y a une évolution des moyennes des parcelles ayant reçu des traitements différents. La comparaison des moyennes générales (cf. tableau 5) fait également apparaître une différence hautement significative au seuil 0,1 %. Toutes les variations correspondent à des diminutions des teneurs assimilables en potassium.

Les seuils de signification sont de 0,1 et 1 % si on considère les moyennes des traitements élémentaires ; par contre ils passent à 1 % et 5 % pour les moyennes des interactions de premier ordre.

Cette évolution négative sans intervention des facteurs contrôlés peut s'expliquer soit par la satisfaction des besoins de la plante de couverture qui a été très voisine dans les différentes parcelles soit par un entraînement de la potasse au cours du repos de l'intercycle soit par les deux raisons.

On peut remarquer que les parcelles ayant reçu la dose la plus forte d'azote ($N_2 = 160$ kg/Ha) montrent des différences moins importantes que ce soit lors de l'examen des moyennes des traitements élémentaires ou des interactions de 1er ordre quelque soit le niveau de l'autre facteur (P ou K).

On peut en déduire que le fait d'avoir apporter au sol une dose plus élevée d'azote permet apparemment de voir diminuer plus faiblement le niveau de la potasse échangeable au sortir de l'intercycle donc au début du cycle suivant.

→ NAE

Comme pour la majorité des données des caractéristiques de bases, aucun arrière-effet des facteurs contrôlés apparaît.

Les moyennes générales sont significativement différentes au seuil 0,1 %. En ce qui concerne les traitements, les valeurs des test "t" sont significatifs aux seuils 1 et 0,1 % (traitement N, P ou K) et aux seuils 5 et 1 % pour 12 combinaisons sur 27 interactions de 1er ordre .

Deux conclusions s'imposent :

- les teneurs en sodium échangeable diminuent systématiquement quelle que soit la parcelle considérée et donc la fertilisation considérée ;

- l'apport d'azote et une fertilisation avec la dose moyenne de phosphore ou de potasse provoquent la moindre perte de sodium sans que l'on puisse expliquer pourquoi dans l'état actuel des connaissances de ce milieu. Il faudra, comme pour d'autres influences apparemment difficilement explicables, d'abord connaître la nature des liens existants entre les paramètres avant de comprendre le pourquoi de cette action.

→ rapports entre cations.

Les deux rapports intéressants sont ceux faisant intervenir le potassium c'est à dire MGE/KE et CAE/KE. Les arrière-effets des facteurs sont nuls ; par contre au niveau de la comparaison des moyennes, on constate :

- que, dans tous les cas, on a une augmentation des rapports en 81A par rapport à 80B ;

- que les moyennes générales sont, dans les deux cas, significativement différents au seuil 0,1 % (cf. tableau 5).

- que les moyennes des parcelles ayant reçu les traitements N, P ou K - ou NP, NK, PK sont significativement différentes (cf. figure 110 des annexes 10 et 11) aux seuils 0,1 et 1 % pour les premiers et 1 et 5 % pour les secondes (26 sur 27 combinaisons pour MGE/KE et 18/27 pour CAE/KE).

- que cette augmentation générale, plus ou moins forte selon les traitements qui ne sont pas significativement différents, serait due d'abord à une diminution des teneurs en potassium échangeable (environ 22 %) et à un maintien (légère diminution pour CAE de 1,1 % et augmentation pour MGE de 2,4 %) des teneurs en Calcium et Magnésium échangeables. Ceci augmente le déséquilibre déjà important entre les cations bivalents et le potassium ; ces rapports devraient être inférieur à 20 (limite supérieure donnée pour quelques cultures dans d'autres pays).

3.2. Résultats observés à la fin du troisième cycle.

La récolte a eu lieu quelques jours avant le prélèvement des échantillons des 54 parcelles de l'essai. Il y aura donc lieu de considérer non seulement les exportations par la récolte des grains également les immobilisations effectives des racines, tiges et feuilles des pieds de maïs, pour chercher à comprendre l'évolution des moyennes étudiées s'il y a, par exemple, des diminutions particulièrement importantes avec ou sans effet des facteurs contrôlés.

Les représentations graphiques ont été réalisées sur le même modèle que les précédentes ; elles sont rassemblées dans les annexes 12 et 13.

3.2.1. Caractéristiques physiques.

Sont considérées les seules variations observées sur les taux d'agrégats. Les moyennes de la densité apparente ne présentaient aucune modification intéressante ; quant à l'activité biologique totale, elle n'a pu être mesurée en cette fin de troisième cycle du fait de mauvaises conditions météorologiques.

L'examen des moyennes générales (tableau 6) permet de noter une augmentation non négligeable du taux d'agrégats après prétraitement à l'alcool (AGRA) mais aucune évolution significative statistiquement des deux autres taux d'agrégats et notamment de celui après traitement au benzène (AGRB). Il y a, pour ces derniers, qu'une faible diminution générale.

Par contre l'étude de la figure 122 (AGRA) et l'examen des résultats des comparaisons de moyennes des traitements de AGRB (non mis en graphiques) indiquent

- que l'on peut avoir un effet des facteurs contrôlés sans pour autant que la comparaison des moyennes des traitements à deux moments de l'essai soient

significativement différentes (cas de AGRB entre le début et la fin du 3ème cycle avec effet "azote").

- que l'on peut, à l'opposé constater des différences statistiquement significatives sans pour autant que les facteurs contrôlés agissent suffisamment (cas de AGRA). On constate ainsi que, quel que soit le niveau de traitement, il y a une évolution générale vers une augmentation qui oscillent entre 2 et 4 % selon les parcelles et les apports "élémentaires" (N, P ou K). Une dose moyenne d'azote (M_1), maximale de phosphore (P_2) et aucun apport de potasse semblent être les meilleurs traitements.

Lorsqu'on passe à l'examen des trois autres graphes de la figure, les rôles de la dose moyennes d'azote (N_1P_0 , M_1P_2 - N_1K_2) et de l'apport le plus élevé de phosphore (NoP_2 , N_1P_2 , P_2K_2) semblent se confirmer, la potasse n'intervenant pas de façon prépondérante.

Les moyennes des taux d'agrégats moyens n'apparaissent significativement différentes qu'en considérant les traitements élémentaires et seulement pour 2 traitements. La figure 131 montre ainsi que les interprétations sont de plus en plus délicates lorsqu'on fait intervenir des moyennes qui suppriment une partie de l'information, en éliminant des effets opposés par exemple.

3.2.2. Caractéristiques chimiques.

3.2.2.1. Phosphore, carbone.

→ Phosphore.

La mise en parallèle des moyennes générales et des traitements du début et de la fin du second cycle, dont les différences sont reportées sur la figure 126 des annexes 12 et 13 nous amène à faire les remarques suivantes :

* la quasi totalité des traitements entraînent une augmentation de la teneur des parcelles en phosphore assimilable Truog ;

** les moyennes générales sont significativement différentes au seuil de 0,1 %. En valeur absolue elle passe de 157 ppm à 177 ppm (cf. tableau 6).

*** au niveau des facteurs contrôlés lorsqu'on considère isolément, c'est à dire qu'elles que soient les doses des deux autres, bien qu'aucune action n'ait été notée (F calculé $<$ F théorique au seuil 5 %) il apparaît des variations non négligeables au niveau des moyennes. Ainsi la dose d'azote N_2 , c'est à dire la plus forte, maintient le niveau de phosphore tandis que l'apport d'une dose moyenne ou l'absence d'apport provoque une augmentation d'environ 15 ppm (différences significativement au seuil 5 et 1 %). Le facteur "potasse" entraîne l'augmentation

TABLEAU 6 - COMPARAISON DES MOYENNES DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES
ET CHIMIQUES AU COURS DES DIFFERENTS CYCLES (Moyenne
Générale).

	Sigle des paramètres	Numéros des paramètres	Début de cycle 1981A	Fin de cycle 1981B	Comparaisons des \bar{x}	
					"t" observé	signification
Données physiques de base.	IS	211 B	1.116	1.168	1.23	NS
	AGRA	212 "	59.102	61.624	5,29	***
	AGRE	213 "	29.702	28.894	1,05	NS
	AGRB	214 "	9.182	9.129	0,13	NS
	Da	221 "	-	-		
	ABT	225 "	-	-		
	(A + L) max		35.878	38.159	2,60	*
	PHE	228 "	6.135	6.289	6.07	***
	PHK	230 "	4.998	5.170	8.91	***
	CT	232 "	24.511	23.648	3.29	**
Données chimiques de base.	NT	234 "	2.413	2.362	2.52	*
	PAT	236 "	167.352	177.482	3.59	***
	CAE	241 "	17.943	16.424	6.80	***
	MGE	243 "	17.130	16.050	8.55	***
	KE	245 "	0.334	0.364	4.30	***
	NAE	247 "	0.135	0.194	8.12	***
	AGRM	201 D	32.672	33.223	1,28	NS
	Pot	202 "	-	-	-	
	CT/NT	208 "	10.142	10.018	1.25	NS
	SBE	210 "	35.538	33.032	8.79	***
Données physiques et chimiques dérivées.	S/T	212 "	87.883	81.639	13.60	***
	MGE/CAE	216 "	0.960	0.984	1.86	NS
	MGE/KE	218 "	52.300	44.433	6.65	***
	CAE/KE	220 "	54.826	45.439	7.21	***
	PAT/NT	224 "	0.069	0.075	6.01	***

t théorique : seuil 5 % : 1,98

Seuil 1 % : 2,63

Seuil 1 ‰ : 3,39.

la plus forte (≈ 15 ppm) quand il n'y a aucun apport tandis que les effets de 2 apports ne peuvent être différenciés. Par contre les parcelles qui ne reçoivent pas de phosphore, quelles que soient les doses d'azote ou de potasse, conservent des teneurs identiques en fin de cycle par rapport au début de cycle ; celles qui sont fertilisées, en revanche, voient leurs teneurs en P205 assimilable croître d'autant plus que les apports sont plus élevés.

**** Les interactions des facteurs pris 2 à 2 entraînent des modifications des teneurs, spécialement lorsque le facteur phosphore est présent. On retrouve l'action, déjà mise en évidence au niveau de l'analyse de variance, du couple "P * K" ; le graphique en bas et à droite de la figure 126 illustre bien l'action prépondérante du phosphore mais aussi l'action "compensatrice" du potassium (P2K2 > P1K0 du point de vue effet). De même sur le schéma en haut et à droite, on retrouve la prépondérance de l'apport de phosphore (et spécialement de la dose P2 avec N1P2 et NOP2). Mais aussi la confirmation de l'action inhibitrice d'une fumure azotée élevée (les parcelles recevant les traitements N2P2 ne voient pas leur moyenne se modifier d'une façon significative).

Enfin seule la combinaison NO * KO entraîne une augmentation significativement différente en phosphore pour les parcelles ayant reçu des fertilisations N * K.

***** Dans l'interaction de second ordre, qui fait intervenir les trois éléments combinés, on retrouve les tendances notées précédemment. L'apport de phosphore (P1 et P2) a une action prépondérante. Ce classement des différences entre les moyennes reflète bien celui déjà mis en évidence lors de l'étude de l'influence des combinaisons à 2 éléments. Ainsi :

N1P2K2 se compose de N1P2 (1), N1K2 (2) et P2K2 (1)

NOP1K0 se compose de NOP1 (2), NOK0 (1) et P1K0 (2)

→ carbone total

L'examen de la figure 125 permet de constater

* qu'il y a une diminution généralisée des teneurs quel que soit le traitement considéré. Cela se retrouve aussi lors de la comparaison des moyennes générales (cf. tab. 6). Mais les différences calculées ne sont que rarement significativement différentes.

** que les moyennes des parcelles sur lesquelles ont été appliqués les traitements élémentaires seul le facteur phosphore a provoqué des chutes significativement différentes, la dose P1 agissant plus fortement que la dose P2.

*** qu'au niveau des interactions seule la combinaison (P1 * K2), formée des deux traitements élémentaires qui provoquent la diminution la plus importante, a une action statistiquement efficace au seuil 5 %.

En définitive, les chutes des teneurs en carbone total ne sont pas très importantes, mais comme elles sont permanentes, c'est à dire qu'elles se retrouvent au cours de chacun des trois cycles étudiés jusque là, il faudra les suivre avec attention au cours des cycles à venir. En effet les modifications des teneurs en carbone total ont généralement une influence importante sur l'évolution des paramètres physiques que sont le coefficient d'instabilité structurale et les différents taux d'agrégats.

→ PAT/NT.

Sur la figure 136 sont représentées les données relatives à cette variable dérivée. Ce rapport nous paraît important non en tant que tel mais comme indication de l'évolution globale des deux données de base qui le composent, en somme de leur équilibre.

On constate d'abord que l'évolution de la moyenne générale mais aussi des moyennes par traitements est à l'augmentation systématique ; les différences entre les valeurs du début et de la fin du cycle sont significatives dans bon nombre de cas, souvent aux seuils 1 % et 0,1 %.

Puis on retrouve l'influence des facteurs contrôlés au cours de l'analyse de variance (action de l'azote et du phosphore). Le facteur "potasse" fait augmenter le rapport sans qu'aucun traitement n'influe particulièrement.

Cette dernière remarque se retrouve lorsqu'on examine l'interaction (N * K) ; le classement tient compte d'abord du composant azote plutôt que de la potasse. Ainsi la dose forte N2 a une influence prédominante défavorable tandis qu'on note une action positive des deux autres traitements azotés.

L'action de l'interaction P * K déjà mise en évidence lors de l'étude d'analyse de variance se confirme, avec l'influence évidente de l'apport de phosphore, quelle que soit la dose de potasse (P2K2, P1K0).

En résumé une forte fertilisation phosphatée (P2) alliée à un apport moyen d'azote (N1), quel que soit la quantité de potasse, permet de maintenir le rapport à un niveau dit "correct". Mais il faut signaler que si le rapport augmente quand les niveaux de fertilisation en phosphore croissent, ce n'est pas de façon proportionnelle. En effet les différences calculées entre les niveaux zéro et 1 sont supérieures à celles existantes entre les niveaux 1 et 2.

3.2.2.2. Acidité ; bases échangeables.

→ PHE.

Aucune action des facteurs contrôlés n'a été montrée par les calculs de l'analyse de variance. Par contre lorsqu'on regarde les différents graphiques de la figure 123, on se rend compte immédiatement.

* qu'il y a une augmentation générale des valeurs de l'acidité mesurée à l'eau c'est à dire qu'on se rapproche de la neutralité ;

** que les moyennes générales sont très significativement différentes au seuil 0,1 % ;

*** que toutes les moyennes des parcelles, lorsqu'on considère les traitements élémentaires, sont également significativement différentes; les parcelles "N1", "P1" et "K1" sont celles qui laissent apparaître les variations les plus élevées (0,2 unités pH environ).

**** qu'en ce qui concerne les combinaisons à deux facteurs, un tiers des différences sont significativement différentes, ce qui montre bien une certaine évolution même si au niveau de l'analyse de variance les tests "F" ne sont pas significatifs. Les traitements marquant sont

N1/P2 - / N2K1 - N1K0 / P1K1

ce qui amène à penser que les parcelles recevant une fertilisation verront leur acidité augmenter par rapport à celles qui ne le seront pas.

Il faut cependant être conscient que les variations enregistrées, compte tenu du niveau des valeurs du pH en début de cycle, ne sont pas d'une amplitude telle qu'elle puisse gêner la croissance de la plante test qu'est le maïs puisque le PHE ne dépasse pas 6,5 et que cette culture peut supporter des valeurs d'acidité comprises entre 5,5 et 7,3.

→ PHK

Les graphiques de la figure 124 schématisent des variations du même ordre que celles représentées sur la figure 123, elles sont simplement plus nombreuses à être significatives ce qui ne permet pas de distinguer les traitements simples ou les interactions qui auraient une action plus importante.

→ CAE

Une première constatation : il y a une diminution générale, quel que soit le traitement appliqué ; elle apparaît aussi bien pour la moyenne générale (seuil 0,1 % ; - 8,5 %) que pour celles des traitements simples ou des combinaisons à 2 éléments. Le tableau 6 et la figure 127 des annexes 12 et 13 rendent compte de cet état de fait.

Statistiquement, à l'aide du test "t", on a mis en évidence

* qu'aucun des traitements élémentaires n'a agi plus qu'un autre. C'est ce qui, lors de l'analyse de variance, n'a pas permis de constater une action des facteurs contrôlés bien que l'ensemble des teneurs en calcium est diminué très sensiblement.

** que les combinaisons entre deux facteurs contrôlés qui provoquent les diminutions les plus fortes comportent les traitements N0, K1 et P2. Ce sont NOP2, NOK1, P2K1 ; les différences mesurées sont significativement différentes au seuil 1 %. Mais, en revanche, il est beaucoup plus difficile de mettre en évidence les combinaisons qui amèneraient le moins de perte possible. (on peut raisonner sans tenir compte des composantes du rendement puisqu'aucune action des facteurs contrôlés n'a été remarqué sur ces dernières).

La diminution de la fraction échangeable en calcium semble difficilement explicable sinon par une consommation de la plante-test (exportation par les grains + immobilisation par les tiges et feuilles et le système racinaire). Cette diminution est très voisine quel que soit le niveau de fertilisation, à l'exception - si cela se confirme - des parcelles recevant le traitement NOP2K1 (- 4,05 me % soit 23 % de perte) et à un moindre niveau les traitements N1P1K2 (- 2,05 me % soit 10,7 %) et N2P1K0 (- 2,05 me % soit 12,3 %). Le calcium n'étant pas un élément facilement entraîné hors du profil, la seule explication logique semble être de considérer le besoin en calcium de la plante qui est très semblable dans l'ensemble des parcelles, d'une façon quasi indépendante de la fertilisation.

→ MGE

Sur la figure 128 il est aisé de constater que le sens et l'intensité des variations du magnésium échangeable est très semblable à ce qui a été observé pour le calcium. Le nombre de différences significativement différentes est plus important que pour CAE.

On peut également formuler les mêmes conclusions tant en ce qui concerne les variations des moyennes des parcelles ayant reçu soit les traitements élémentaires (N quels que soient P et K) ou les interactions de premier ordre. C'est ainsi que les combinaisons NOP2, NOK1 et P2K1 apparaissent également comme celles qui entraînent les plus importantes diminutions, ce qui donnent au niveau des traitements à 3 facteurs NOP2K1 (-2,2 me % soit 13 %) ; par contre, comme les différences significativement différentes sont plus nombreuses qu'avec le calcium, il y a également d'autres combinaisons à 3 facteurs qui provoquent des diminutions importantes de la fraction échangeable du magnésium ; ce qui permet de dire que peu de traitements provoquent des différences non significatives.

→ KE

Si on se reporte à la figure 129, on retrouve l'action du facteur contrôlé "potasse" sur le potassium échangeable. En effet seules les différences entre les moyennes des parcelles ayant reçu le traitement K2 sont hautement significativement différentes au seuil 0,1 %. Mais par contre on note des différences significatives, sans que les facteurs N et P agissent suffisamment pour permettre de le constater statistiquement par les tests "F",

quand on apporte des fertilisations azotées et phosphatées quelles que soient les doses (spécialement pour l'azote). En résumé, l'apport maximum en azote (N2) et phosphore (P2) est le plus sûr garant pour conserver et augmenter la réserve en potassium échangeable.

On retrouve ces conclusions lorsqu'on examine les graphiques représentant les différences des moyennes des parcelles ayant reçu les combinaisons de 2 facteurs (NP, NK, PK). En effet on a :

$$N2P2 - N1P2 \quad N1K2 / P2K2$$

ce qui correspond, quand on considère les traitements complets, aux combinaisons :

N1P2K2 (+ 0,12 me % soit un gain de 42 %)
et N2P2K2 (+ 0,09 me % soit un gain de 32 %)

En résumé, il faut apporter une fertilisation importante de potasse (K2) pour compenser les pertes subies du fait de la culture soit par exportation soit par immobilisation soit même par retrogradation. L'apport d'une dose élevée de phosphore (P2) et à un moindre degré d'azote (N1) provoque une synergie avec la potasse dont l'action est renforcée.

→ NAE

Comme pour le calcium et le potassium les teneurs en sodium échangeable augmentent nettement d'une façon générale, quels que soient les traitements appliqués.

Les traitements élémentaires provoquent, quelle que soient les doses considérées, des augmentations nettement significatives au seuil 0,1 % (8 cas sur 9).

De ce fait, lorsqu'on examine les graphiques de la figure 130, il est difficile de faire ressortir la ou les combinaisons à deux facteurs qui a le plus d'action (19 sur 27 des comparaisons de moyennes sont significativement différentes).

En résumé ce que l'on peut dire, c'est qu'une augmentation systématique, souvent significative statistiquement, est observée. Actuellement il semble difficile de l'expliquer, on ne peut que la constater. Il faudra suivre l'évolution des teneurs échangeables au cours des cycles suivants. Cependant, étant donné le faible pourcentage des bases échangeables que représentent les teneurs en sodium, il n'y a aucun danger que le rapport Na/T % (indice de salinisation) n'atteigne les valeurs critiques (10 %).

→ SBE

Signalons simplement que les moyennes générales et les moyennes de tous les traitements simples ou des l'interactions de premier ordre (NP, NK, PK) sont toutes significativement différentes quand on considère le début et la fin de ce 3ème cycle (cf. tableau 6 et figure 132).

Le sens (diminution) et l'intensité (pourcentage des pertes) sont très voisins de ce qui a été déjà observés pour le calcium et le magnésium.

Certes les réserves sont encore importantes mais il faut cependant suivre le sens des prochaines évolutions avec attention.

- Rapports entre cations.

On retrouve au niveau des rapports MGE/KE, CAE/KE et (MGE + CAE)/KE les évolutions qui découlent de celles déduites du magnésium et du potassium échangeables. Les valeurs de ces rapports subissent des diminutions importantes. L'action du facteur contrôlé "potasse", déjà vue au moment de l'analyse de variance, se retrouve au moment des comparaisons des moyennes. Mais en fait tous les traitements simples et une fraction non négligeable des interactions de 1er niveau (13 pour CAE/KE et 10 pour MGE/KE) provoquent des diminutions statistiquement significatives. (cf. figures 135 et 136 des annexes 12 et 13).

Dans le cas de ces paramètres, plus la diminution sera importante, plus on parviendra à des rapports proches de valeurs déjà bien connues et considérées comme équilibrées. Si l'on retient les traitements les plus efficaces, au seuil 1 %, on a :

$N2P2 / N1K2 - N2K2 / P2K2.$

Ce qui nous amène aux combinaisons N1P2K2 et N2P2K2 que l'on avait déjà signalé comme les plus "actives" pour augmenter les teneurs en potassium échangeable.

3.3. Conclusions.

3.3.1. Pendant l'intercycle (80 B/81 A).

L'étude de l'évolution des caractéristiques physiques et chimiques en ce qui concerne la moyenne générale au coup de l'intercycle montre que les valeurs à la fin du second et au début du troisième sont très significativement différentes, généralement au seuil 0,1 % (9 cas), rarement aux seuils inférieurs (3 cas). Dans 4 cas, il n'y a pas d'évolution notables.

Si l'on travaille, non plus avec la moyenne générale, mais les moyennes des traitements pour mettre éventuellement en évidence un arrière-effet des facteurs contrôlés - en plus des modifications que les travaux du sol, l'enfouissement des cannes sèches de maïs et la mise en place d'un engrais vert ont pu provoquer - les conclusions suivantes se dessinent :

* le facteur azote, sauf pour la caractéristique PAT/NT, a l'action la plus favorable lorsque la fertilisation a été la plus forte ($N_2 = 160$ kg/ha). Cette action favorable se traduit soit par une modification positive (MGE qui augmente ; MGE/KE et CAE/KE qui diminuent) soit par la modification la moins défavorable (PHE, PHK, KE, NAE).

* le facteur phosphore, à l'exception du sodium échangeable (NAE) a l'influence la plus favorable (augmentation au moindre diminution) si on apporte une fertilisation ; la dose moyenne ($P_1 = 80$ kg/ha) semble être celle qui est la plus universelle (cf. tab. 7 à 10).

* enfin le facteur potasse agit au niveau de l'apport (la majorité des caractéristiques concernées) avec K_1 ou effet K_1 ~~#~~ effet K_2 ; ou sans que les traitements n'aient une action prépondérante, les uns par rapport aux autres. Ceci permet donc de retenir la dose moyenne ($K_1 = 100$ kg/ha) comme le traitement ayant les meilleurs arrières-effets.

* les caractéristiques CT (carbone total) NT (azote total) et PAT (phosphate assimilable Truog), quels que soient les traitements, subissent des diminutions. Aucune action plus favorable des facteurs contrôlés ne peut être mise en évidence sauf une tendance lorsqu'on examine les différentes combinaisons à 3 facteurs ($N_x P_y K_z$) (cf. tableaux 7 et 8).

TABLEAU 7 - Recapitulatif : Evolution des valeurs moyennes des différents paramètres au cours de l'intercycle 80B/81A.

Paramètres	action facteurs contrôlés	Sens général de l'évolut.	Facteur N	Facteur P	Facteur K	Interaction X * Y	Interaction X * Y * Z	Moyenne générale	Conclusions les moins défavorables.
PHE	N1	↓	N1# No>>Nz (*) (NS)	PO>>P2#P1 (*) (NS)	K2#K0#K1 (NS)	NOP1 ↓ (*) Tendances pour augmentation N2PO/N2P2/N2P1 N2KO/N2K1/N2K2 P2K2/POK2/	Tendances pour augmentation N2POK0 N2POK2 N2P2K2 N2P1K1	*	Azote dose N2 Apport de P √K pour la moindre diminution.
PHK	No/N1	↓	N1#NO>> N2 (***) (**)	P1>P2#P0 (***) (**)	K1#K0#K2 (***)	NOP1/N1P1/N1P2 ⁺ N1 et NO √K P1 √K (**) Tendances pour augmentation N2PO/N2P1/N2P2 N2K2/N2K1/N2KO POK2	Tendances à augmentation N2POK0 N2P1K1 N2P2K0	***	Azote dose nZ Apport de P √K pour la moindre diminution
CT	RAS	↓	N2#N1#NO (***)	PO#P1#P2 (***)	K0#K1#K2 (***)	avec P2 ou No (**) Diminue le - N2P1/N2P0/N1P0 NOK2/N2K2/N1K1 NOK2/POK1/P1K2 (tendances)	Tendances à maintenances des teneurs	***	pour une moindre diminution, seulement quelques combinaisons au niveau d'interactions du 2ème niveau.

TABLEAU 8 - Récapitulatif : Evolution des valeurs moyennes des différents paramètres au cours de l'intercycle 80B/81A.

Paramètres	Action facteurs contrôlés	Sens général de l'évolut.	Facteur N	Facteur P	Facteur K	Interaction X * Y	Interaction X * Y * Z	Moyenne générale	Conclusions les moins défavorables.
NT	RAS	↓	N2=N1=NO (***)	P1=P2=PO (***)	K1>K0=K2 (***) (**)	Toutes significatives (***) ou (*) - diminution la moins forte NoPo (NS)	tendance à la diminution la + faible. N2POK2/N1P2K1	***	Pour une moindre diminution, seulement quelques combinaisons au niveau d'interaction du 2ème niveau.
PAT	RAS	↓	-	-	-	-	N1P1K2	NS	Pour une augmentation non négligeable, une seule combinaison à 3 facteurs contrôlés.
MGE	N2	+	N2>M1=NO *	P1>P2=PO *	K0=K1=K2 NS	-	N2P1K0 N2P1K1	**	Fertilisation azotée N2 avec de préférence P1,K
KE	RAS	↓	N1=NO>N2 *** **	P2=P1>PO *** **	K2=K1=K0 ***	Toutes significatives à (***) et (*) - diminution la + faible N2,P,K	diminution la + forte N1P1K1 - diminution la + forte N2P1K2	***	Pour une moindre diminution, quelques combinaisons avec N2PO,K

TABLEAU 8 - (suite).

Paramètres	Action facteurs contrôlés	Sens général de l'évolut.	Facteur N	Facteur P	Facteur K	Interaction X * Y	Interaction X * Y * Z	Moyenne générale	Conclusions les moins défavorables.
NAE	RAS	↓	N0>N2>N1 (***) (**) (*)	P2>P0#P1 (***) (**)	K2>K1#K0 (***) (**)	Diminution la - forte avec M1 et M2 avec P1 et K1	Diminution la - forte avec N1P0K1 N1P2K1 N2P0K2	***	Fertilisation azotée N1 ou N2 avec P2 et K1 ou K2

TABLEAU 9 - Récapitulatif : Evolution des valeurs moyennes des différents paramètres au cours de l'intercycle 80B/81A.

Paramètres	Action facteurs contrôlés	Sens général de l'évolut.	Facteur N	Facteur P	Facteur K	Interaction x * Y	Interaction X * Y * Z	Moyenne générale	Conclusions les moins défavorables.
MGE/KE	RAS	↑	N0#N2#N1 (***)	P2>P1#P0 (***) (**)	K2#K1#K0 (***)	Tous significatifs à (***) au (*)	Augmentation la - forte NOP1K1 N1POK1 N2P1K2	***	Apport de potasse avec dose moyenne (P1) et √N
CAE/KE	RAS	↑	N0#N1#N2 (**)	P2>P1#P0 *** (**)	K2#K1#K0 (**)	Dans la majorité significatifs à (*) au (**)	Augmentation la - forte N1POK1 N2POK1 N2P1K1	***	Apport de potasse (K1) avec dose moyenne (P1) avec apport N
PAT/NT	K2	↑	N2#N1>N0 * NS	P2#P1>P0 * NS	K2>>K0#K1 *** NS	P1K2(**) N1P1(*)	N1P1K2	***	Apport dose N1 " " P1 " " K2

TABLEAU 10 - CONCLUSIONS CONCERNANT LES ARRIERES-EFFETS DES FACTEURS CONTROLES AU COURS DU 2^{ème} INTERCYCLE.

Traitements Caractéristiques	N	P	K
PHE	N2	P1 P2	√K *
PHK	N2	P1 P2	√K
CT	-	-	-
NT	-	-	-
PAT	-	-	-
MGE	N2	P1	√K
KE	N2	P0 P1	√K
NAE	N1 N2	P2	K1 K2
MGE/KE	N	P1	K1 K2
CAE/KE	N1 N2	P1	K1
CAE/KE	N1 N2	P1	K1
PAT/NT	N1	P1	K1

√K = quelque soit le traitement K

3.3.2. Pendant le 3ème cycle (81B/81A).

L'étude de l'évolution des caractéristiques physiques et chimiques en ce qui concerne la moyenne générale au cours du cycle fertilisé montre que les valeurs au début et à la fin sont, dans la majorité (18/20), significativement différentes, généralement au seuil 0,1 % (14 cas sur 18), rarement aux seuils inférieurs (4 cas/18).

Si l'on travaille, non plus avec la moyenne générale, mais avec les moyennes des traitements pour mettre en évidence, éventuellement, un effet des facteurs contrôlés - en plus des modifications possibles dues aux quelques travaux du sol comme buttage et sarclage - on peut conclure comme suit (cf. tableaux 11 à 14 ci après).

* le facteur azote, sauf pour les caractéristiques sur lesquelles aucun traitement n'a d'influence, agit comme un dépressif quand la fertilisation est forte ($N_2 = 100 \text{ kg/ha}$) mais il faut cependant apporter cet élément avec la dose N_1 .

* à l'exception du potassium échangeable, dont l'augmentation est nettement plus importante si la fourniture de phosphore au sol est plus élevée ($P_2 = 160 \text{ kg/ha}$), il est d'abord nécessaire d'apporter une fertilisation phosphatée (P_1 ou P_2). Les valeurs de quelques paramètres (acidité, carbone total, sodium échangeable) augmentent ou diminuent quel que soit le traitement.

* quant au facteur potasse, sauf pour le potassium échangeable qui voit ses teneurs croître de plus en plus quand la fertilisation augmente, il semble qu'un apport moyen ($K_1 = 100 \text{ kg/ha}$) suffise pour permettre de conserver le niveau de fertilité du sol ou du moins l'empêche de trop chuter.

* le calcium et le magnésium échangeables ainsi que les données dérivées varient globalement de la même façon quel que soit le traitement appliqué. Pour les deux premiers paramètres, il s'agit d'une diminution (pertes), pour les autres d'une diminution également mais favorable (rééquilibrage des cations les uns par rapport aux autres).

TABLEAU 11 - RECAPITULATIF : EVOLUTION DES VALEURS MOYENNES DES DIFFERENTS PARAMETRES AU COURS DU TROISIEME CYCLE (81A/81B).

Para- mètres	Action facteurs contrôles	Sens général de l'évolut.	Facteur N	Facteur P	Facteur K	Interaction X * Y	Interaction X * Y * Z	Moyennes générales	Conclusions les moins défavorables
AGRA	RAS	↑	No#N2#N1 (NS) N1>NO>N2 (***) (**) (*)	PO>P1#P2 (*) (NS) P2>P1>PO (***) (**) (*)	K1>K0#K2 (*) (NS) K0>K2>K1 (***) (**) (*)	Les plus significatives sont N1K2 et P2K2	Les plus actives comportent P1 et P2 ; √N et √K	***	- Apport d'azote - Apport phosphaté - √K
PHE	RAS	↑	N1>N2#NO (***) (**)	P2>P1>PO (***) (**)(*)	K1>K0#K2 (***) (*)	Une partie significative à (**)	légère augmentation (0,30 unités)	***	Quelques combinaisons mises en évidence avec, comme facteur commun K1 √N,P
PHK	RAS	↑	N1#NO>>N2 (***) (**)	P2#P1#PO (***)	K2#K1#K0 (***)	La majorité significativement différente à (**) et (*)	N1P2K0 N2P2K1 N2P0K1 NO1K1 N1P1K1	***	idem
CT	RAS	↓	N2=N1#NO NS	P1>P2>>PO ** * NS	K2#K0#K1 NS	La majorité non significativement différente sauf P1K2 -- Les baisses les + faibles avec N1PO/NOPO NOK1 POK2	Légère augmentation avec N2P1K0	**	Quelques combinaisons mises en évidence avec - Fertilisation azotée √P,K (N1)

TABLEAU 13 - RECAPITULATIF : EVOLUTION DES VALEURS MOYENNES DES DIFFERENTS PARAMETRES AU COURS DU TROISIEME CYCLE (81A/81B).

Paramètres	Action facteurs contrôlés	Sens général de l'évolut.	Facteur N	Facteur P	Facteur K	Interaction X * Y	Interaction X * Y * Z	Moyennes générales	Conclusions
SBE	RAS	↓				mêmes déductions que pour		CAE et MGE	Diminution générale
MGE/KE	RAS	↓				mêmes déductions que pour		KE	Diminution générale (action favorable)
GAE/KE	RAS	↓				mêmes déductions que pour		KE	Diminution générale (action favorable)
PAT/NT	PK	↑	NO>>N1>>N2 (***) (***) (NS)	P2#P1>>P0 (***) (NS)	K0#K1>K2 (***) (**)	Les plus favorables N1P2/NOP1 NOK0/N1K2 P2K2/P1K0	Les plus favorables sont N1P2K2 et NOP1K0	***	Azote N1 apport phosphate - √K

TABLEAU 12 - RECAPITULATIF : EVOLUTION DES VALEURS MOYENNES DES DIFFERENTS PARAMETRES AU COURS DU TROISIEME CYCLE (81A/81B).

Paramètres	Action facteurs contrôlés	Sens général de l'évolut.	Facteur N	Facteur P	Facteur K	Interaction X * Y	Interaction X * Y * Z	Moyennes générales	Conclusions les moins défavorables
PAT	PK	↑	N0>N1>>N2 (**)(*)NS	P2>P1>>P0 (**)(*)NS	K0>K2#K1 (**) NS	Non significatives sauf N1P2/NOP1 NOK1/N1K2 P2K2/P1K0	Citons les 2 plus favorables • N1P2K2 NOP1K0	***	- Azote (N1) - Apport phosphore - √K
CAE	RAS	↓	N0#N1#N2 (***)	P0#P2#P1 (***)	N0#K1#K2 (***)	Les plus défavorables à (**) NOK1 NOP2 P2K1	Les plus défavorables NOP2K1 NOP1K2	***	Diminution générale √fertilisation
MGE	RAS	↓	"	"	"	"	"	***	"
KE	KE	↑	N2#N1>>N0 (**)(NS)	P2>P1>P0 (**)(*)NS	K2>>K1#K0 (***) (NS)	Les plus favorables N2P2/N1P2 N1K2 P2K2	Les plus favorables N1P2K2 N2P2K2	***	Apport d'azote " de Phosphore (P2) " de potasse (K2)
NAE	RAS	↑	N2#N1#N0 (***)	P2#P1#P0 (***)	K2#K0>K1 (***) **	La plupart significatifs à (***) et (*)	Les plus favorables sont : N2P0K0 N1P2K2 NOP0K2 N1P1K2 NOP2K0	***	Apport K2 ou pas de K √N, P

TABLEAU 14 - CONCLUSIONS CONCERNANT LES EFFETS DES FACTEURS CONTROLES AU COURS DU 3ème INTERCYCLE.

Traitements →			
Caractéristiques ↓	N	P	K
AGRE	N1 N2	P1 P2	√K
PHE	√N	√P	K1
PHK	√N	√P	K1
CT	N1	√P	√K
PAT	N1	P1 P2	√K
CAE	-	-	-
MGE	-	-	-
KE	N1 N2	P2	K2
MAE	√N	√P	K0/K2
SBE	-	-	-
MGE/KE	-	-	-
CAE/KE	-	-	-
PAT/NT	N1	P1/P2	√K