

AU SERVICE DE L'AGRICULTURE

DOSSIER K₂O

N° 17 - Octobre 1980

APPAUVRISSMENT ET ENRICHISSEMENT DES SOLS EN POTASSIUM

Étude expérimentale à partir d'un réseau d'essais de moyenne à longue durée

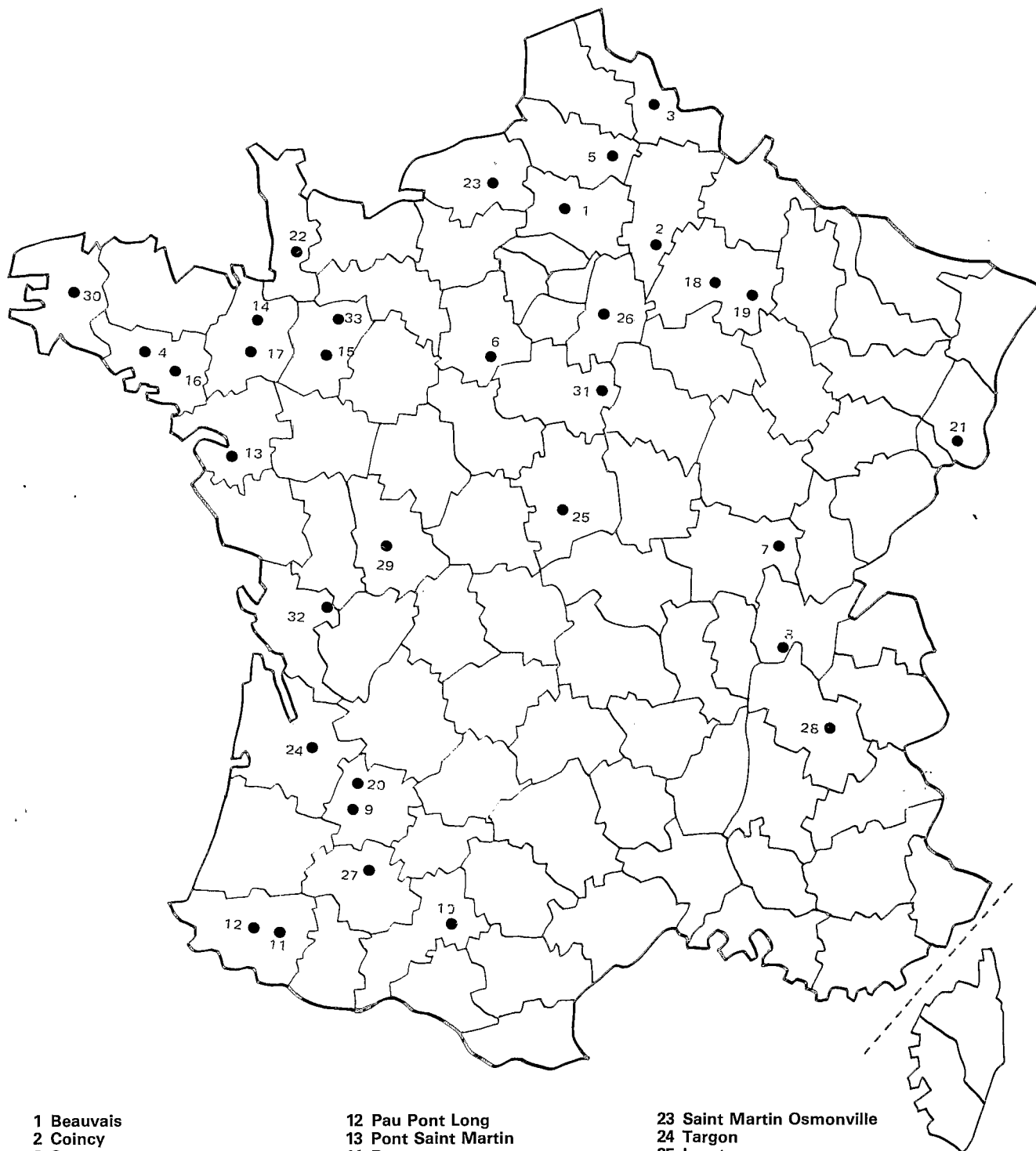
par André LOUÉ, Ingénieur Agronome I.N.A.

Département d'Agronomie de la SCPA - Mulhouse

SOMMAIRE

| | pages |
|--|-------|
| Position et intérêt du problème | 3 |
| Méthodes de mesure de l'enrichissement en potassium | 4 |
| Appréciation de l'enrichissement des sols en potassium échangeable sur le réseau expérimental SCPA | 4 |
| 1. La rotation biennale plante sarclée - blé | 5 |
| 2. La rotation triennale plante sarclée - blé - orge | 8 |
| 3. Rotation plantes sarclées - cultures légumières de plein champ | 10 |
| 4. Rotation à dominante maïs-grain, de type maïs-céréales | 13 |
| 5. Rotation maïs-grain-prairie temporaire (essais de Pau) | 16 |
| 6. Culture continue du maïs | 18 |
| 7. Rotations à base de cultures fourragères | 19 |
| 8. Rotations comportant une luzerne de 3/4 ans | 25 |
| 9. Prairies temporaires et prairies permanentes | 28 |
| 10. Vergers et vignes | 32 |
| 11. Évolution du potassium échangeable dans les essais de redressement-épuisement | 35 |
| 12. Évolution du potassium échangeable dans des essais sur sols à pouvoir fixateur élevé à très élevé | 38 |
| 13. Effets des interactions N × K et P × K sur l'enrichissement des sols en potassium dans les essais factoriels | 39 |
| Synthèse et conclusions | 41 |
| Synthèse des résultats expérimentaux relatifs à l'évolution de K ₂ O échangeable | 41 |
| Bilans de fertilisation potassique et évolution de K ₂ O échangeable | 44 |
| Importance des phénomènes de fixation et de libération | 45 |
| Conclusion | 47 |
| Potassium échangeable et fumure potassique d'entretien | 47 |
| Potassium échangeable et fumure potassique de correction | 48 |
| Bibliographie | 48 |

Fig. 1: Situation géographique des essais considérés



- 1 Beauvais
- 2 Coincy
- 3 Sancourt
- 4 Locmaria
- 5 Omiécourt
- 6 Ozoir le Breuil
- 7 Saint Étienne en Bresse
- 8 Faramans
- 9 Sainte Marthe
- 10 Lagardelle
- 11 Pau Saint Léon

- 12 Pau Pont Long
- 13 Pont Saint Martin
- 14 Rennes
- 15 Laval
- 16 Notre-Dame de Clarté
- 17 Crevin
- 18 Le Rafidin
- 19 Saint Jean sur Moivre
- 20 Lé vignac de Guyenne
- 21 Aspach le Bas
- 22 Les Loges

- 23 Saint Martin Osmonville
- 24 Targon
- 25 Levet
- 26 Lieusaint
- 27 La Sauvetat
- 28 Moirans
- 29 Venours
- 30 Pleyben
- 31 Le Chesnoy
- 32 Les Touches de Périgny
- 33 Javron

APPAUVRISSEMENT ET ENRICHISSEMENT DES SOLS EN POTASSIUM

Étude expérimentale à partir d'un réseau d'essais de moyenne à longue durée

par André LOUË, Ingénieur Agronome I.N.A.

Département d'Agronomie de la SCPA - Mulhouse

Position et intérêt du problème

Pour le potassium, le test analytique d'estimation de la richesse du sol à peu près unanimement retenu en France est le potassium dit échangeable (par l'acétate d'ammonium). Tout le monde est d'accord pour utiliser ce diagnostic, en sachant qu'il n'est pas fiable à 100 %, et pour l'interpréter en fonction d'autres facteurs (résultats expérimentaux quand ils existent, teneurs en argile, CEC, etc.).

La richesse du sol en K échangeable est donc à la base du diagnostic potassique et du conseil de fertilisation potassique qui en découle.

Au cours des années récentes, les concepts de sols à l'entretien et de sols à corriger, en ce qui concerne la fertilité potassique, se sont précisés.

Le sol à l'entretien en potassium est un sol dans lequel la culture la plus exigeante de la rotation, placée dans les conditions optimales de croissance, ne réagit pas à un apport d'engrais potassique supérieur à la dose dite d'entretien.

La fumure d'entretien comporte essentiellement :

- 1) les exportations par les cultures,
- 2) les pertes par lessivage et autres pertes,
- 3) les immobilisations éventuelles par fixation.

La fumure de correction fait intervenir en plus la quantité d'élément K correspondant à la correction envisagée, et dépend de la durée au cours de laquelle on désire opérer la correction.

Il existe divers abaques de diagnostic K (interprétant K échangeable en fonction de l'argile et (ou) de argile + matière organique). La figure 2 représente l'abaque moyen de la SCPA (qui s'oriente en effet vers la prise en compte d'abaques régionalisés).

Les abaques peuvent différer quelque peu selon les sources.

Pour des abaques voisins, la barre de l'entretien est également variable selon les organismes, les types de sols.

Mais le positionnement d'un sol sur un abaque (A) est une donnée objective ainsi que son évolution au cours d'une période (A à B par exemple).

Par contre, le conseil de fertilisation, lié aux positions A et B, dépend de celui qui le formule.

Le raisonnement de la fumure potassique en termes de fumure d'entretien et de fumure de correction est pratique, surtout à partir des analyses de sols.

La fertilisation potassique se raisonne à la fois en terme de fertilité (entretien, correction) et de rentabilité. Le lien entre la fertilité potassique et les courbes de réponse est connu. Ainsi, dans la synthèse des effets K_2O enregistrés sur l'ensemble des résultats expérimentaux SCPA obtenus depuis 1955, les réponses sur blé et maïs ont pu être établies sous formes de fonctions de production en fonction de trois richesses des sols en potasse échangeable (moins de 0,10 ‰, 0,10 à 0,20 ‰, plus de 0,20 ‰).

Les figures 3 et 4 représentent pour le maïs et le blé, les trois fonctions de production correspondant à ces trois classes de richesse du sol en K_2O échangeable.

Les courbes de rendements sont cohérentes et en accord avec la théorie de l'aplatissement progressif des réponses avec l'enrichissement des sols en K_2O .

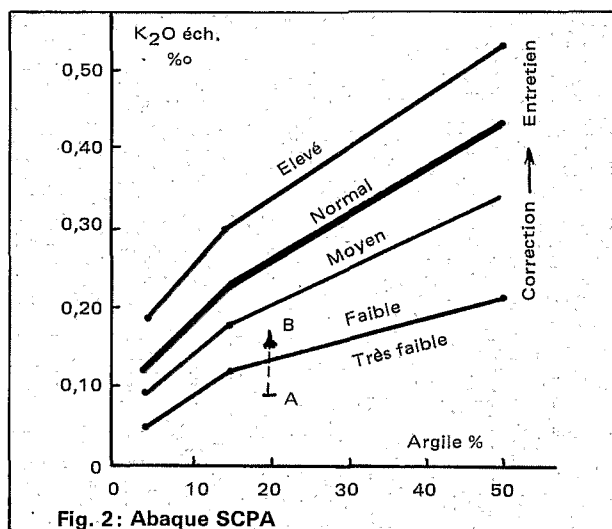


Fig. 2: Abaque SCPA

Bien que l'écart entre les courbes ne soit évidemment pas le seul fait de la différence de richesse des sols en K_2O , il est néanmoins intéressant de se situer en sols plutôt bien pourvus en potasse.

Sur sols pauvres, les fonctions conduisent à des doses de profit maximum qui peuvent être élevées. En général, dans de tels cas, la dose correspondant au profit maximum est une dose de bilan K_2O positif, donc supérieure au prélèvement effectif. Dans ce cas, la dose de profit maximum annuel permet aussi un certain enrichissement du sol. S'il s'impose doublement, au plan agronomique et économique. Si dans ce même cas, elle équilibrerait juste le bilan, son application stricte ne conduirait pas à un résultat satisfaisant à moyen et à long terme.

Point de Documentaire

N° : 82/80/00856

Cote : B.

ex 1

Date : 22 AVRIL 1982

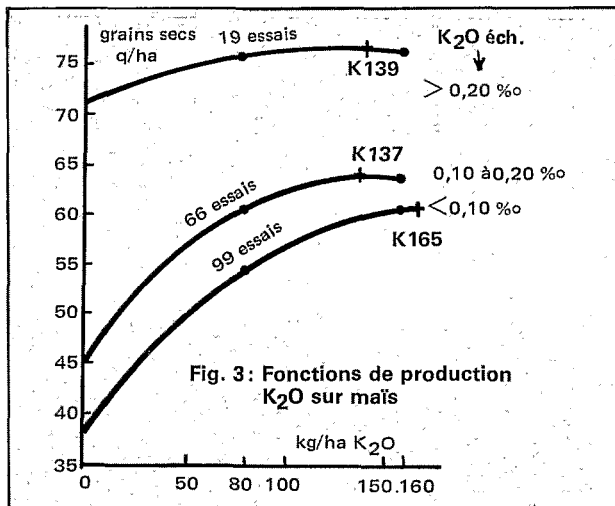


Fig. 3: Fonctions de production K₂O sur maïs

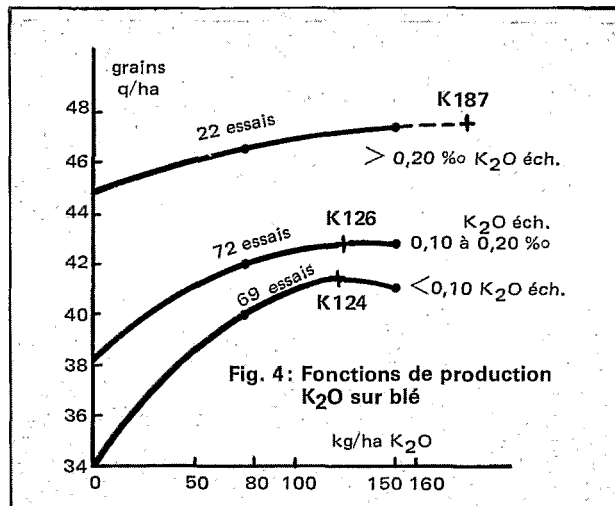


Fig. 4: Fonctions de production K₂O sur blé

Sur sols riches, à l'opposé, la réponse est aplatie et la dose de profit maximum peut être très faible ou nulle et risque d'être très inférieure à celle de l'équilibre du bilan. Son application conduirait à l'appauvrissement du sol. Dans ce cas, il peut être préférable de rechercher la sécurité en appliquant la dose d'entretien (cela dépend évidemment du degré de richesse du sol). Si dans ce même cas, la dose de profit maximum devait être supérieure à la dose d'équilibre du bilan, il serait concevable de se limiter à cette dernière, car un pourcentage élevé du profit maximum peut encore

être obtenu avec une dose parfois assez inférieure à celle de profit maximum.

La connaissance de l'état actuel de la richesse en potassium des sols et de son évolution au cours d'une certaine période selon les apports K₂O pratiqués et les rendements obtenus, est donc du plus grand intérêt pour une politique rationnelle de fumure potassique, que ce soit au niveau de la parcelle, de l'exploitation, des types de sols d'une région, etc.

Méthodes de mesure de l'enrichissement en potassium

Mesurer l'enrichissement d'un sol en potassium, c'est essentiellement comparer l'évolution de sa teneur en K échangeable dans le temps.

Le problème du bien-fondé de l'appréciation de l'enrichissement par la mesure de K échangeable sera abordé en fin de document, ainsi que celui des explications supplémentaires susceptibles d'être obtenues avec d'autres méthodes.

Il y a deux méthodes principales pour étudier l'évolution :

1) **La méthode globale** : elle est basée essentiellement sur la statistique d'un très grand nombre d'analyses d'échantillons de sols. Elle consiste à comparer les distributions des teneurs en K échangeable des échantillons analysés à des périodes différentes et provenant d'aires géographiques plus ou moins vastes. On compare les distributions, tous échantillons confondus.

Cette méthode globale fait l'objet de nombreuses critiques bien connues, la principale étant qu'on ne mesure pas l'enrichissement effectif de sols déterminés, mais l'enrichissement des échantillons analysés. D'autre part, les biais sont bien connus. Néanmoins, cette méthode est nécessaire, et on peut admettre qu'elle devrait donner une image assez fidèle de la fertilité si elle portait sur de très grands nombres d'échantillons.

La SCPA a entrepris depuis cinq ans un travail consistant à mettre en mémoire d'ordinateur, en vue d'un traitement statistique programmé, les résultats d'analyses de sols de ses laboratoires, en remontant à 1960. Par ailleurs, il a été possible de grossir la banque de données en y incorporant les analyses confiées par divers organismes. Cette étude fera l'objet d'un prochain « Dossier K₂O » qui viendra donc compléter celui-ci sur le même thème.

2) **La méthode ponctuelle** : elle est basée sur la mesure du potassium échangeable dans le temps sur une même parcelle (et sur le plus grand nombre possible de parcelles répertoriées en fonction de divers facteurs, tels que types de sols, types de rotations, doses de potasse, etc.).

Cette méthode constitue l'objet de ce « Dossier K₂O », en s'appliquant précisément aux essais permanents SCPA de doses de potasse. La carte de la figure 1 (page 2) situe les essais considérés dans cette étude (18).

La méthode apparaît comme très nettement plus précise que la précédente, mais ne permet pas d'éviter le problème de l'extrapolation. Néanmoins, à partir d'essais types sur rotations typiques, on devrait pouvoir obtenir une approche valable du problème de l'enrichissement des sols en potassium.

Appréciation de l'enrichissement des sols en potassium échangeable sur le réseau expérimental SCPA

L'enrichissement en K échangeable, mesuré au cours de la vie d'un champ d'essai permanent devrait dépendre principalement des facteurs suivants :

- 1) **Les doses de K₂O** appliquées et leur ancienneté.
- 2) **Les exportations par les récoltes**, en fonction de l'effet des doses de K₂O sur les rendements et la composition des récoltes. Ces points 1 et 2 traduisent l'état du bilan : K₂O exporté/ K₂O apporté, et dépendent du genre de rotation.
- 3) **Les restitutions potassiques** en fonction des restitutions végétales influencent directement les bilans K₂O et l'enrichissement éventuel.

4) **La nature des sols**. Sur les sols très légers, à très faible CEC, la notion d'enrichissement en K perd beaucoup d'intérêt. A l'opposé, sur les sols à très fort pouvoir fixateur, quelles sont les possibilités d'enrichissement ?

De nombreux autres facteurs (mode d'apport de l'engrais potassique, période d'échantillonnage par rapport aux cultures, modalités de l'échantillonnage et en particulier profondeur des prélèvements) auront une influence sur les résultats obtenus.

Les résultats seront surtout présentés en fonction des successions culturales pratiquées sur les essais et secondairement en fonction des autres variables.

1 - LA ROTATION BIENNALE PLANTE SARCLÉE - BLÉ

(influence des restitutions végétales sur l'enrichissement des sols en potasse)

Le problème des restitutions organiques revêt une grande importance pour les divers types d'agriculture, au regard de la fertilité en général. En ce qui concerne le problème du potassium, le fait de restituer ou non les résidus de récoltes entraîne des modifications notables dans les bilans K_2O , donc dans l'épuisement des sols en potasse. C'est particulièrement net lorsqu'il s'agit d'organes végétatifs tels que les pailles des céréales, les tiges de maïs, les verts de betteraves, etc.

Le problème des restitutions organiques ne correspond pas seulement à un problème de bilan K_2O de la culture considérée et de la rotation. Il s'y ajoute l'effet propre de la matière organique sur le devenir du potassium constituant (passage plus ou moins rapide à l'état échangeable) et son effet à plus ou moins long terme sur la dynamique K du sol.

Le Département d'Agronomie SCPA a étudié directement (au niveau du potassium échangeable), l'interaction des restitutions organiques et des doses de K_2O appliquées. Deux essais ont été conduits avec des rotations de type plante sarclée (pomme de terre ou betterave sucrière) - blé, les restitutions portant donc sur les verts de betterave et les pailles de blé.

Le sol de l'essai de Beauvais (Oise) était alcalin (pH 7,8), sablo-limoneux contenant une forte proportion d'éléments fins.

Le sol de l'essai de Coincy (Aisne) était un limon fin assez moyen en matières organiques, à complexe absorbant désaturé (50 % de saturation).

Dans les deux cas le niveau potassique était nettement insuffisant.

| Essais | Argile (%) | | Mat. org. (%) | | CEC (meq %) | | K_2O éch. (‰) | |
|----------|------------|----------|---------------|----------|-------------|----------|-----------------|----------|
| | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol |
| Beauvais | 14,1 | 20,0 | 2,2 | 1,0 | 15,0 | 14,5 | 0,11 | 0,10 |
| Coincy | 15,8 | 23,2 | 1,7 | 1,2 | 14,1 | 17,8 | 0,09 | 0,09 |

1.1. ESSAI de BEAUVAIS (Oise) 1967-1975

1.1.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET EFFET POTASSE

Cet essai a été poursuivi de 1967 à 1975 sur la ferme de l'Institut Agricole de Beauvais, dans le but de déterminer la meilleure fumure NPK à adopter avec ou sans restitution des résidus de récolte.

Le dispositif expérimental était du type factoriel en confondu (16 traitements) pour les facteurs azote (N2, N3), acide phosphorique (P2, P3) et potasse (K0, K2, K3, K4).

L'essai comportait 4 sous-blocs de 8 parcelles, soit 32 parcelles au total. La restitution des résidus de récolte était faite sur deux sous-blocs, soit la moitié de l'essai (R0 = pas de restitution des résidus, R1 = restitution des résidus).

L'effet potasse fut surtout net sur plantes sarclées et particulièrement sur betteraves sucrières (tableau ci-dessous) :

Effet potasse sur l'essai de Beauvais

| Cultures | K_2O (kg/ha) | | | | Effet potasse | | | | |
|-----------------------------------|----------------|-----|-----|-----|---------------|-------|-------|-------|---------|
| | K0 | K2 | K3 | K4 | K0 | K2 | K3 | K4 | |
| Blé 1967, 69, 71, 73, 75 | 0 | 80 | 120 | 160 | 51,86 | 52,84 | 52,26 | 51,94 | q/ha |
| Pomme de terre 1968 | 0 | 150 | 225 | 300 | 41,9 | 43,3 | 43,5 | 43,3 | t/ha |
| Betterave sucrière 1970, 72, 74 . | 0 | 140 | 210 | 280 | 40,1 | 42,0 | 44,0 | 46,1 | t/ha |
| Moyennes/an | 0 | 108 | 161 | 215 | 100,0 | 103,0 | 102,9 | 105,4 | indices |

L'effet des restitutions fut régulièrement positif à partir de la 4^e année de l'essai comme cela ressort ci-dessous, au niveau de l'effet moyen R.

Effet des «restitutions» sur l'essai de Beauvais

| 1968 P. de terre t/ha | 1969 - Blé | | 1970 Bett. t/ha | 1971 - Blé | | 1972 Bett. t/ha | 1973 - Blé | | 1974 Bett. t/ha | 1975 - Blé | |
|-----------------------------|---------------|----------------|-----------------------|---------------|----------------|-----------------------|---------------|----------------|-----------------------|---------------|----------------|
| | grain q/ha | paille q/ha | | grain q/ha | paille q/ha | | grain q/ha | paille q/ha | | grain q/ha | paille q/ha |
| R0 43,1 | 48,4 | 26,1 | 41,7 | 53,7 | 24,9 | 41,8 | 63,9 | 36,1 | 40,2 | 44,1 | 51,9 |
| R1 42,9 | 47,5 | 29,5 | 44,0 | 55,9 | 27,4 | 45,8 | 65,4 | 46,9 | 44,8 | 47,4 | 55,5 |

1.1.2. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE

Essai de Beauvais: K₂O échangeable ‰ (sols 0-20 cm)

| | | Après blé 1971 | | | | | Après blé 1975 | | | | |
|----------------------|-------|---------------------------|----------------|----------------|-----------------|--------------|---------------------------|----------------|-----------------|-----------------|--------------|
| R | K | K0 | K2 | K3 | K4 | Effet R | K0 | K2 | K3 | K4 | Effet R |
| | R0 | | 0,107 | 0,135 | 0,147 | 0,180 | 0,142 | 0,082 | 0,110 | 0,145 | 0,150 |
| R1 | | 0,127 | 0,170 | 0,172 | 0,217 | 0,172 | 0,098 | 0,130 | 0,172 | 0,228 | 0,157 |
| Effet K | | 0,117 | 0,152** | 0,160** | 0,198*** | 0,157 | 0,090 | 0,120** | 0,159*** | 0,189*** | 0,139 |
| ppds effet K | | 0,05 = 0,022 0,01 = 0,030 | | | | | 0,05 = 0,020 0,01 = 0,027 | | | | |

Des prélèvements ont été effectués dans chaque parcelle, en octobre 1971, après la récolte de blé, et en fin d'essai, après le blé de 1975.

La teneur en K₂O échangeable fut nettement influencée par les traitements R et K et en fin d'essai, l'interaction R × K fut hautement significative et très positive (figure 5).

Les mêmes effets se sont retrouvés en sous-sol, mais ici l'interaction R × K est nulle.

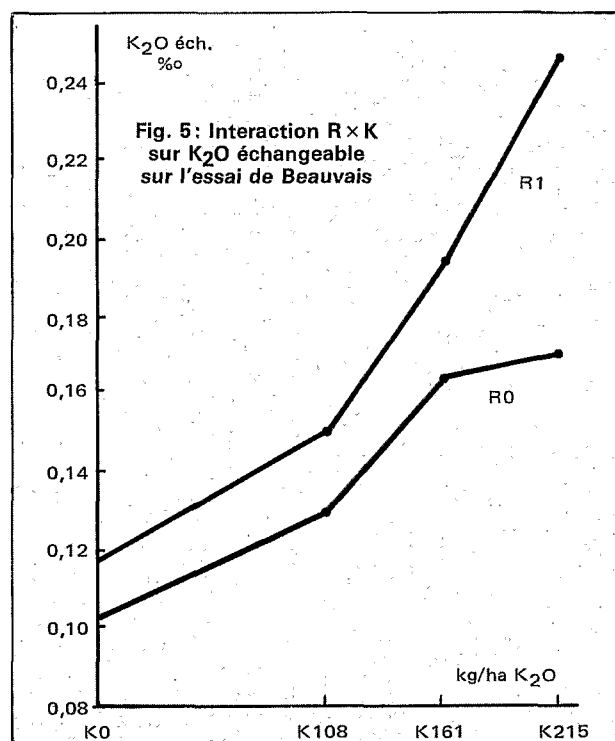
K₂O échangeable ‰ (sous-sol)

| R | K | K0 | K2 | K3 | K4 | Effet R |
|----------------|----|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | R0 | | 0,060 | 0,090 | 0,110 | 0,120 |
| R1 | | 0,090 | 0,130 | 0,140 | 0,150 | 0,127 |
| Effet K | | 0,075 | 0,110 | 0,125 | 0,135 | 0,111 |

Il apparaît que la dose K2 (108 kg/ha K₂O/an) a à peine équilibré le bilan en l'absence de restitutions (R0), car le sous-sol semble s'être un peu appauvri.

Avec restitution des verts et des pailles, la dose K2 semble avoir permis le maintien de la teneur en potasse échangeable le long du profil.

La dose K3 (K161) a permis un petit enrichissement sans restitutions (R0) et un enrichissement assez net avec restitutions.



1.1.3. DISCUSSION

Il n'a pas été établi, dans le cas de cet essai, de bilan précis annuel des quantités de K₂O exportées du champ ou incorporées. On considérera ci-après la rotation betteraves - blé 1972 - blé 1973 connue avec précision.

Essai de Beauvais: bilan K₂O (kg/ha) sur la rotation betteraves - blé

| 1972 | Betteraves | R0 | | | | R1 | | | |
|------|------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | | K0 | K140 | K210 | K280 | K0 | K140 | K210 | K280 |
| | Racines | 74 | 79 | 90 | 104 | 90 | 94 | 104 | 105 |
| | Verts | 148 | 162 | 184 | 227 | 174 | 201 | 217 | 278 |
| | Bilan | -222 | -101 | -64 | -51 | -90 | +46 | +106 | +175 |
| 1973 | Blé | K0 | K80 | K120 | K160 | K0 | K80 | K120 | K160 |
| | Grains | 29,6 | 30,5 | 30,6 | 30,4 | 32,7 | 33,0 | 32,2 | 31,9 |
| | Paille | 42,0 | 49,7 | 49,1 | 56,0 | 67,2 | 78,9 | 75,5 | 76,2 |
| | Bilan | -71,6 | -0,2 | +40,3 | +73,6 | -32,7 | +47,0 | +87,8 | +128,1 |

L'interaction R x K sur les deux ans est la suivante :

Bilan K₂O (kg/ha) sur deux ans

| | K0 | K2 | K3 | K4 | Effet R |
|----------------|-------------|-----------|------------|-------------|---------|
| R0 | -294 | -101 | -24 | +23 | -99 |
| R1 | -123 | +93 | +194 | +303 | +117 |
| Effet K | -208 | -4 | +85 | +163 | |

L'effet des restitutions croît avec la dose de potasse (171, 194, 218, 280 kg/ha K₂O) ce qui est logique compte tenu de l'effet potasse sur la production de pailles de blé et de verts de betteraves et sur les teneurs en potassium de ces parties.

Ces bilans sont en fait sujets à une certaine imprécision qui concerne surtout la détermination des quantités effectivement exportées et enfouies, en fonction des modes de récolte.

Ainsi, les quantités moyennes de pailles mesurées sur cet essai en 1967-69-71-73-75, furent respectivement de 38, 28, 26, 42, 54 q/ha, dont les teneurs en potassium étaient elles-mêmes très variables (0,57 - 0,88 - 0,49 - 1,33 - 1,94 % K respectivement). Il en résulte des fluctuations très importantes en termes de bilans K₂O.

C'est pourquoi, malgré les difficultés de l'échantillonnage des sols des parcelles expérimentales, il paraît nécessaire de mesurer l'enrichissement effectif au niveau du sol.

1.2. ESSAI de COINCY (Aisne) 1967

1.2.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET EFFET POTASSE

Effet potasse sur l'essai de Coincy

| Cultures | K ₂ O (kg/ha) | | | | Effet potasse | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------|------------|------------|------------|---------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| | K0 | K2 | K3 | K4 | K0 | K2 | K3 | K4 | |
| Blé 1968, 70, 72, 74, 76, 78 | 0 | 80 | 120 | 160 | 55,4 | 57,4 | 57,6 | 56,8 | q/ha |
| Pomme de terre 1969, 75 | 0 | 120 | 180 | 240 | 20,9 | 33,7 | 36,7 | 36,7 | t/ha |
| Betterave sucrière 1967, 71, 73, 77 | 0 | 127 | 190 | 255 | 47,8 | 51,5 | 54,4 | 55,8 | t/ha |
| Moyennes/an | 0 | 102 | 153 | 205 | 100,0 | 111,0 | 115,0 | 115,5 | indices |

Cet essai a été implanté en 1967, en collaboration avec le CETA de Neuilly Saint Front. Le but de l'essai et le dispositif expérimental sont les mêmes que pour l'essai de Beauvais.

L'effet potasse, assez faible sur blé (de l'ordre de + 2 q/ha), fut très accusé sur plantes sarclées, d'où un

effet moyen de l'ordre de + 15 %. L'effet sur blé fut d'ailleurs plus net en 1976 et 1978 qu'en début d'essai.

L'effet des restitutions fut régulièrement positif (sauf en 1976) et, en moyenne de + 1,5 q/ha sur blé, + 1,6 t/ha sur betterave et + 2,7 t/ha sur pomme de terre.

Effet des « restitutions » sur l'essai de Coincy

| | 1967 Bett. t/ha | 1968 Blé q/ha | 1969 P. det. t/ha | 1970 Blé q/ha | 1971 Bett. t/ha | 1972 Blé q/ha | 1973 Bett. t/ha | 1974 Blé q/ha | 1975 P. det. t/ha | 1976 Blé q/ha | 1977 Bett. t/ha | 1978 Blé q/ha |
|----|-----------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| R0 | 56,1 | 57,5 | 34,8 | 55,9 | 63,7 | 47,2 | 35,1 | 58,5 | 26,0 | 57,7 | 51,0 | 60,1 |
| R1 | 56,1 | 60,4 | 35,9 | 56,8 | 66,5 | 50,6 | 38,9 | 60,5 | 30,3 | 54,0 | 52,1 | 62,4 |

1.2.2. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE

Des prélèvements ont été effectués dans chaque parcelle au printemps 1973, avant les apports d'engrais, et fin 1978, et analysés par le laboratoire SCPA - Toulouse.

Essai de Coincy: K₂O échangeable °/°° (sols 0-20 cm)

| | | Après blé 1972 | | | | | Après blé 1978 | | | | |
|--|---|----------------|--------------|---------------|-----------------|--|----------------|----------------|----------------|-----------------|--------------|
| R | K | K0 | K2 | K3 | K4 | Effet R | K0 | K2 | K3 | K4 | Effet R |
| R0 | | 0,102 | 0,110 | 0,130 | 0,142 | 0,121 | 0,078 | 0,090 | 0,105 | 0,147 | 0,103 |
| R1 | | 0,105 | 0,122 | 0,117 | 0,170 | 0,128 | 0,065 | 0,117 | 0,107 | 0,152 | 0,110 |
| Effet K | | 0,103 | 0,116 | 0,123* | 0,156*** | 0,125 | 0,067 | 0,103** | 0,106** | 0,149*** | 0,106 |
| ppds effet K à 0,01 = 0,029 et CV = 16,4 % | | | | | | ppds effet K à 0,01 = 0,028 et CV = 18,1 % | | | | | |

L'effet des doses de potasse est positif et hautement significatif, mais de 1973 à 1978 il y a eu appauvrissement,

particulièrement net en K0 (-36 ppm), mais aussi en K2 et K3. Sur l'ensemble de la période de 12 ans, l'enrichissement

n'est assez net qu'avec K4 (K205). Le statu quo semble correspondre à K2 (K102). L'effet des restitutions, assez net en 1973, ne l'est pas en 1978.

En sous-sol (20-40 cm), l'effet potasse fut particulièrement net avec respectivement: 0,083 - 0,098 - 0,117** - 0,137*** K₂O°/°° de K0 à K4, en 1978.

En conclusion, sur ces deux essais complexes, l'effet des restitutions fut nettement positif sur les rendements. Sous l'angle du bilan minéral, cet effet a surtout joué sur le potassium. Il semble bien que l'interaction R x K soit positive sur l'enrichissement du sol en K, l'effet des restitutions croissant avec la dose de K₂O (davantage de restitutions plus riches en K).

2 - LA ROTATION TRIENNALE PLANTE SARCLÉE-BLÉ-ORGE

(influence du mode de répartition de la fumure potassique sur la rotation sur l'enrichissement des sols en potasse)

La fumure potassique se calcule dans bien des cas pour la rotation. La dose globale sur la rotation peut d'autre part se répartir de différentes manières sur les cultures avec, en particulier, les variantes suivantes: blocage de toute la dose sur la plante sarclée tête de rotation, répartition égale ou inégale sur les diverses cultures. A priori, la dose globale de K₂O ainsi fixée pour la rotation doit exercer un effet sur l'enrichissement éventuel du sol en potassium nettement plus important que les modalités de sa répartition sur la rotation.

Ces deux aspects ont été étudiés dans des essais dont le but principal était l'étude de la réponse à la fumure potassique à long terme, en fonction de sa répartition au cours de rotations types: plante sarclée-blé-orge (essais de Sancourt et de Locmaria).

Le sol de Sancourt était sablo-limoneux et celui de Locmaria un limon fin riche en matière organique, avec une pauvreté nette en potasse, dans les deux cas (laboratoire SCPA Mulhouse).

| Essais | Argile (%) | | Mat. org. (%) | | CEC (meq %) | | K ₂ O éch. (°/°°) | |
|----------------|------------|----------|---------------|----------|-------------|----------|------------------------------|----------|
| | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol |
| Sancourt | 13,6 | 16,2 | 2,9 | 1,3 | 12,6 | 13,8 | 0,12 | 0,08 |
| Locmaria | 18,2 | 17,0 | 5,8 | 2,5 | 16,8 | 9,8 | 0,07 | 0,04 |

2.1. ESSAI de SANCOURT (Nord) 1961-1975

2.1.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET EFFET POTASSE

Le dispositif expérimental comportait 4 répétitions de 6 traitements (dont un traitement accessoire non pris en compte ci-dessous).

L'essai a porté sur cinq rotations: plante sarclée-blé-orge.

Pour les trois premières rotations, les doses globales de la rotation ont été: K0, K200, K400.

Pour les deux dernières rotations, elles furent portées à: K0, K250, K500.

Les modalités de répartition étaient les suivantes:

R1 = potasse bloquée en tête de rotation,
R2 = potasse répartie par tiers sur la rotation.

Les résultats techniques sur les rendements ont été importants; ainsi les indices moyens sur 12 ans pour les rotations 2, 3, 4, 5 sont les suivants: K0 = 100,0 K1R1 = 109,17 K1R2 = 110,42 K2R1 = 115,37 K2R2 = 115,72.

L'effet répartition fut donc minime, comparé à l'effet dose: 100,0 - 109,8 - 115,6.

2.1.2. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE

Des échantillons de sol furent prélevés par parcelle à l'issue des 2^e, 3^e, 4^e et 5^e rotations triennales. L'évolution de

1959 (avant essai) à 1975 est la suivante pour la potasse échangeable.

Essai de Sancourt: évolution de K₂O échangeable

| | K ₂ O échangeable (°/°°) sol | | | | K ₂ O échangeable (°/°°) sous-sol | | | | |
|-----------------|---|----------|----------|----------|--|----------|----------|----------|----------|
| | 1959 (M) | 1966 (M) | 1969 (M) | 1972 (T) | 1975 (T) | 1959 (M) | 1966 (M) | 1972 (T) | 1975 (T) |
| K0 | 0,126 | 0,100 | 0,090 | 0,075 | 0,064 | 0,079 | 0,065 | 0,087 | 0,062 |
| K1R1 | 0,120 | 0,093 | 0,100 | 0,090 | 0,090** | 0,088 | 0,065 | 0,075 | 0,064 |
| K1R2 | 0,125 | 0,100 | 0,127** | 0,092 | 0,085* | 0,081 | 0,058 | 0,085 | 0,060 |
| K2R1 | 0,124 | 0,105 | 0,107 | 0,100* | 0,125*** | 0,079 | 0,063 | 0,085 | 0,067 |
| K2R2 | 0,119 | 0,123* | 0,138** | 0,125** | 0,150*** | 0,080 | 0,068 | 0,085 | 0,082 |
| ppds 0,05 | NS | 0,020 | 0,027 | 0,026 | 0,016 | NS | NS | 0,028 | 0,024 |
| ppds 0,01 | — | 0,028 | 0,037 | 0,035 | 0,022 | — | — | — | — |

M = laboratoire SCPA Mulhouse

T = laboratoire de Toulouse

Il apparaît d'abord que le traitement sans potasse (K0) s'est régulièrement appauvri. Les analyses de 1966 montraient déjà que la dose K200 (K1) sur la rotation n'avait pas permis de maintenir le niveau potassique initial du sol. On notait aussi un plus fort appauvrissement avec blocage en tête de rotation (R1). Seul le traitement K2R2 significativement supérieur aux autres, permettait de maintenir le niveau initial, vers 0,12^{o/oo}.

Les analyses de 1969 avaient nettement confirmé les tendances de 1966 : les apports fractionnés R2 présentaient des teneurs sensiblement supérieures à celles des apports bloqués.

Les analyses de 1972 et 1975 confirmèrent cela au niveau K2.

Sur l'ensemble des 15 ans d'essai, les doses moyennes par rotation furent de K0, K220, K440, correspondant à des

apports moyens annuels (R2), K0, K73, K146. Il n'y a donc eu un certain enrichissement qu'avec K146 apportée chaque année. Le sol s'est appauvri avec K73. Mais il faut préciser que pour les quatre premières rotations, les résidus de récoltes (verts et pailles) étaient exportés du champ.

D'autre part, le comportement du potassium dans ce sol a été étudié par d'autres méthodes.

Les mesures faites en colonnettes de terre ont donné des parcours de potassium considérés comme assez élevés. Cela indiquerait, en liaison avec la capacité d'échange, une rétention plutôt modérée du potassium.

Ce sol ne semble pas capable de retenir de grandes quantités de potassium, ce qui explique assez bien le faible enrichissement obtenu en 15 ans et la supériorité à cet égard des apports annuels par rapport au blocage.

2.2. ESSAI de LOCMARIA (Morbihan) 1966-1974

2.2.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET EFFET POTASSE

Le dispositif expérimental comportait 4 répétitions de 7 traitements. L'essai a porté sur trois rotations : plante sarclée - blé - orge.

Pour la première rotation les doses globales de la rotation ont été : K0, K180, K360. Pour les deux rotations suivantes, elles furent portées à K0, K240, K480.

Les modalités de répartitions étaient les suivantes (ci-contre) :

- R1 = potasse bloquée en tête de rotation,
- R2 = potasse répartie à raison de 2/3 sur plante sarclée, 0 sur blé, 1/3 sur orge,
- R3 = potasse répartie à raison de 1/2 sur plante sarclée, 1/4 sur blé, 1/4 sur orge.

Les résultats techniques sur les rendements ont été très marqués, comme cela ressort du tableau suivant qui les traduit en indices.

Effet potasse sur l'essai de Locmaria

| Rotations | K0 | K1 R1 | K1 R2 | K1 R3 | K2 R1 | K2 R2 | K2 R3 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 ^{re} : bett. four.-blé-orge | 100,0 | 117,4 | 113,9 | 112,5 | 122,1 | 118,6 | 116,6 |
| 2 ^e : p. de t.-blé-orge | 100,0 | 186,7 | 187,9 | 187,0 | 188,5 | 197,4 | 194,6 |
| 3 ^e : choux four.-blé-orge | 100,0 | 174,0 | 173,0 | 170,0 | 178,6 | 185,8 | 185,2 |

Sur la moyenne des 9 ans, l'effet potasse sur les rendements se résume par les indices suivants : 100,0 - 158,0 - 165,6 pour les trois niveaux K0, K1, K2 qui ont correspondu à des apports moyens annuels de K0, K73, K146. Au niveau

K2, à partir de la deuxième rotation, les meilleurs résultats ont été obtenus lorsque la dose n'était pas bloquée en tête de rotation, mais répartie.

2.2.2. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE

L'essai a été contrôlé par analyses chimiques parcelaires à la fin des 2^e et 3^e rotations (tableau ci-dessous, laboratoire de Toulouse).

Essai de Locmaria : évolution de K₂O échangeable (°/°°) sols 0-20 cm

| Fin 1971 (2 rotations) | | | | Fin d'essai | | | | | |
|------------------------|-------|---------|---------|--------------------|-------------|---------|---------|---------------|--------------------|
| | R1 | R2 | R3 | Effet K | | R1 | R2 | R3 | Effet K |
| K1 | 0,060 | 0,070 | 0,077 | 0,069 | K1 | 0,042 | 0,043 | 0,048 | 0,045 |
| K2 | 0,085 | 0,115 | 0,102 | 0,101** | K2 | 0,092 | 0,110 | 0,100 | 0,100*** |
| Effet R | 0,072 | 0,092 | 0,090 | Témoin K0 0,045 | Effet R | 0,067 | 0,076 | 0,074 | Témoin K0 0,025 |
| | | Effet K | Effet R | 7 traitements | CV = 37,1 % | Effet K | Effet R | 7 traitements | |
| ppds 0,05 | | 0,018 | 0,022 | 0,032 | ppds 0,05 | 0,021 | 0,026 | 0,036 | |
| ppds 0,01 | | 0,025 | 0,031 | 0,043 | ppds 0,01 | 0,029 | — | 0,050 | |

Malgré la difficulté de raccordement entre laboratoires, il apparaît que le sol témoin K0 s'est rapidement et gravement appauvri.

L'effet des doses de potasse fut très significativement positif, entre K1 et K2. Bien que l'effet répartition n'ait pas été significatif, il est nettement apparu que les teneurs avec

R1 (blocage sur la plante sarclée) étaient inférieures à celles obtenues avec R2 ou R3, et cet effet R est surtout net en présence de K2 (supériorité des traitements K2R2 et K2R3 vis-à-vis de l'enrichissement du sol en potassium échangeable).

Bien que les sous-sols des sept traitements soient tous très pauvres, il apparaissait une moindre pauvreté significative en K2 (teneurs respectives de 0,020 - 0,023 -

0,045**°/°° en K0, K1, K2), traduisant une migration en profondeur.

En conclusion, sur ces deux essais de répartition de la fumure potassique sur la rotation il est apparu que si la dose K₂O globale sur la rotation conditionnait le statut potassique du sol, sa répartition sur les trois cultures n'était pas sans influence, à cet égard, la fertilité potassique étant mieux assurée avec la répartition annuelle qu'avec le blocage en tête de rotation.

3 - ROTATION PLANTES SARCLÉES - CULTURES LÉGUMIÈRES DE PLEIN CHAMP

(un exemple des fluctuations annuelles pouvant affecter le potassium échangeable dans les essais à long terme)

3.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET EFFET POTASSE

On retiendra ici l'exemple de l'essai d'Omiécourt (Somme) réalisé depuis 1958, en collaboration avec la Station Agronomique d'Amiens. Il étudie à la fois la fumure azotée et potassique et la forme de potasse. La partie potassique du dispositif comporte 7 traitements : K0, K1, K2, K3 (avec chlorure ou sulfate en K1, K2, K3).

Les conditions de sol correspondent à un limon (5 % de sables grossiers, 57,0 % de sables fins, 25,6 % de limon,

13,7 % d'argile, 2,5 % de matières organiques, 3 % de calcaire total, pH 7,7) très moyennement pourvu en potasse au départ (0,11°/°° K₂O échangeable), et avec une CEC de 12,3 meq %.

La rotation pratiquée a varié en cours d'essai, avec l'introduction des cultures légumières de plein champ, et le tableau ci-après rapporte l'essentiel des résultats techniques en ce qui concerne l'effet principal potasse.

Effet potasse sur l'essai d'Omiécourt

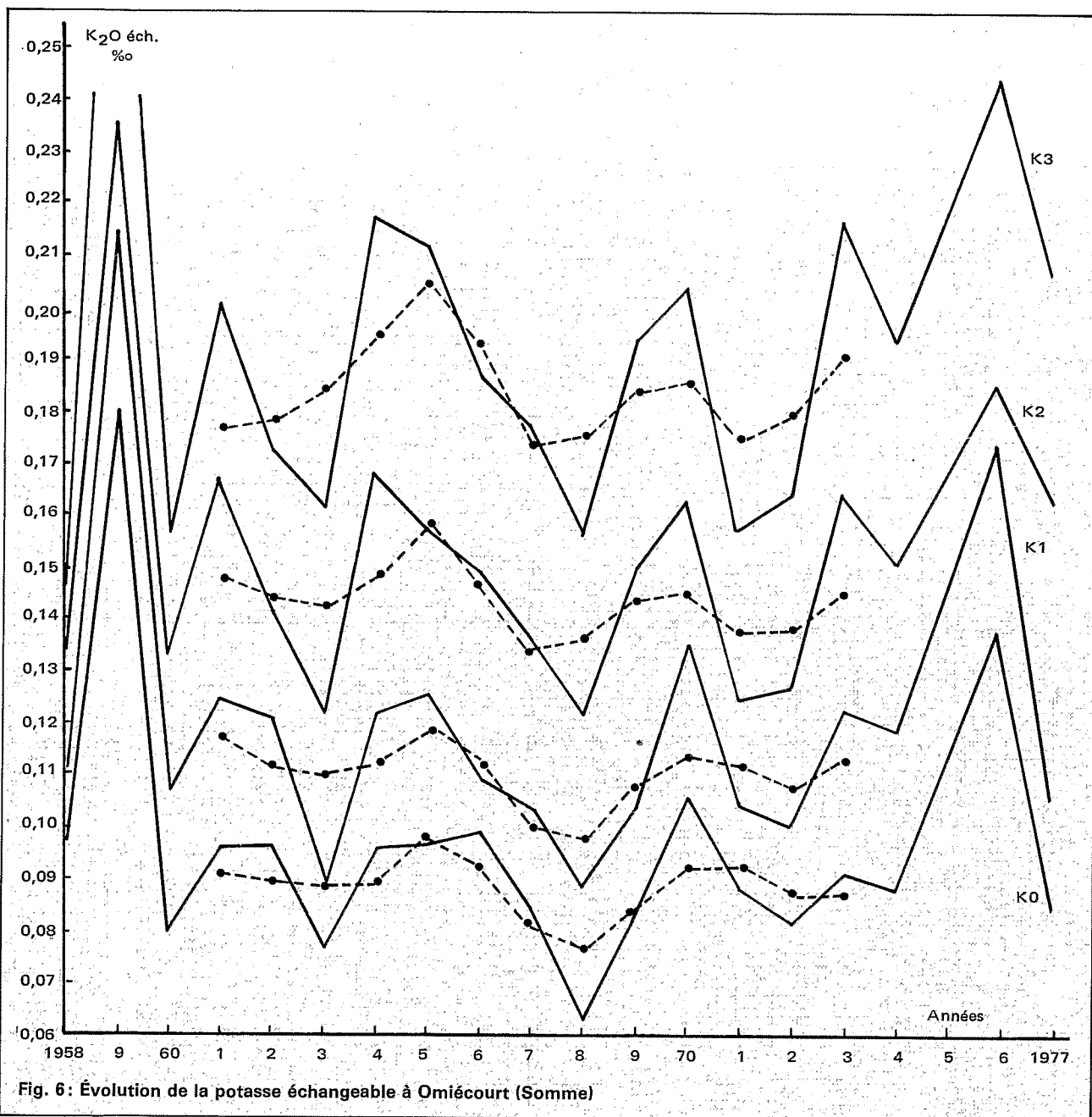
| | K ₂ O | | | | Effet potasse | | | | |
|------------------------------|------------------|-----------|------------|------------|---------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|
| | K0 | K1 | K2 | K3 | K0 | K1 | K2 | K3 | |
| 1959 betterave | 0 | 100 | 200 | 300 | 12,7 | 13,8 | 15,7 | 15,9 | t/ha |
| 1960 blé | 0 | 50 | 100 | 150 | 44,8 | 44,6 | 45,1 | 44,5 | q/ha |
| 1961 petits pois | 0 | 60 | 120 | 180 | 11,51 | 11,70 | 11,57 | 11,49 | t/ha (gousses) |
| 1962 pomme de terre ... | 0 | 100 | 200 | 300 | 17,5 | 30,8 | 37,2 | 39,5 | t/ha |
| 1963 betterave | 0 | 150 | 300 | 450 | 39,4 | 42,7 | 46,2 | 47,1 | t/ha |
| 1964 blé | 0 | 50 | 100 | 150 | 52,7 | 56,4 | 58,2 | 57,9 | q/ha |
| 1965 pomme de terre ... | 0 | 150 | 300 | 450 | 21,9 | 34,7 | 37,8 | 38,6 | t/ha |
| 1966 blé | 0 | 50 | 100 | 150 | 47,1 | 47,4 | 46,7 | 46,7 | q/ha |
| 1967 betterave | 0 | 100 | 200 | 300 | 32,7 | 42,7 | 47,3 | 50,1 | t/ha |
| 1968 petits pois | 0 | 60 | 120 | 180 | 4020 | 4198 | 4447 | 4165 | kg/ha (grains) |
| 1969 betterave | 0 | 100 | 200 | 300 | 57,9 | 64,5 | 68,5 | 69,5 | t/ha |
| 1970 haricots | 0 | 100 | 200 | 300 | 4,27 | 7,85 | 7,71 | 7,98 | t/ha (gousses) |
| épinards | 0 | 60 | 120 | 180 | 0,83 | 0,86 | 1,17 | 1,44 | t/ha (matière sèche) |
| 1971 pomme de terre ... | 0 | 120 | 240 | 360 | 30,4 | 40,2 | 46,0 | 46,6 | t/ha |
| 1972 blé | 0 | 50 | 100 | 150 | 49,3 | 56,4 | 57,9 | 56,1 | q/ha |
| 1973 haricots | 0 | 100 | 200 | 300 | 25,4 | 32,8 | 39,1 | 37,7 | q/ha (gousses) |
| 1974 escourgeon | 0 | 30 | 60 | 90 | 54,0 | 56,9 | 57,0 | 52,7 | q/ha |
| épinards | 0 | 100 | 200 | 300 | 17,3 | 24,7 | 25,9 | 27,9 | q/ha (matière sèche) |
| 1975 betterave | 0 | 60 | 120 | 180 | 34,2 | 36,7 | 39,6 | 40,1 | t/ha |
| 1976 choux Bruxelles ... | 0 | 120 | 240 | 360 | 16,0 | 17,1 | 17,4 | 16,4 | t/ha |
| 1977 betterave | 0 | 100 | 200 | 300 | 65,4 | 71,2 | 74,0 | 76,3 | t/ha |
| Moyenne/culture | 0 | 86 | 172 | 258 | 100 | 120,9 | 130,8 | 133,4 | indices |

3.2. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE

L'évolution de la teneur en potasse échangeable est suivie chaque année par la Station Agronomique d'Amiens. Les prélèvements sont régulièrement intervenus après les récoltes de chaque année (la seule exception étant qu'il n'y a pas eu de prélèvement après la betterave de 1975 ; de plus le prélèvement de 1976 a été fait le 25 mai, avant les choux de Bruxelles).

La figure 6 représente, pour les quatre traitements, les fluctuations annuelles qui devraient pouvoir être expliquées

surtout par les effets conjoints des bilans K_2O annuels des différentes cultures et des conditions pluviométriques. Chaque année, les traitements K0 ont des teneurs très inférieures à celles des autres traitements et l'effet des doses de potasse K1, K2, K3 est très positif et hautement significatif entre K1 et K2 et entre K2 et K3. Par rapport à l'origine (0,11‰), il y a un certain appauvrissement avec K0, statu quo avec K1, un certain enrichissement avec K2 et enrichissement plus net avec K3.

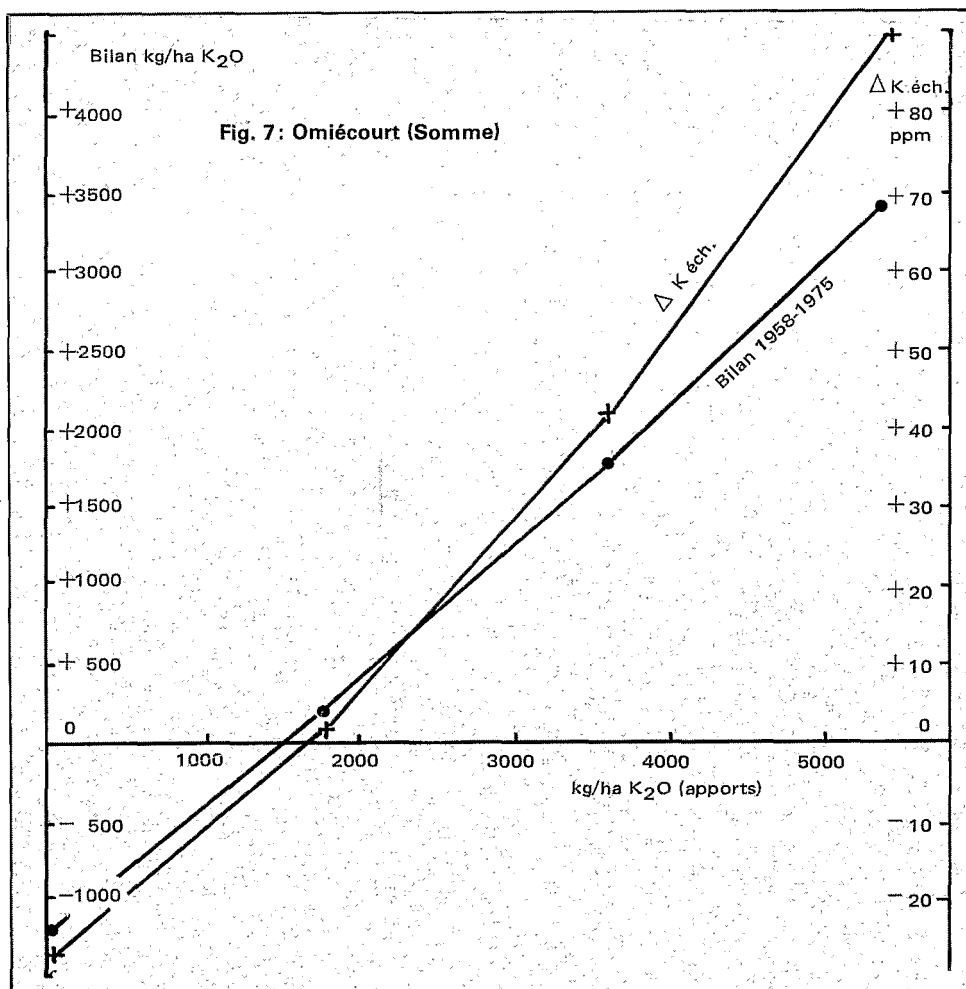


3.3. INFLUENCE DES BILANS K_2O

On peut évidemment chercher à expliquer les mouvements soit en baisse (exemples : 1963 - 1967 - 1968 - 1971), soit en hausse (1969 - 1970) par rapport à l'année antérieure par les bilans des cultures. Il apparaît que les baisses de 1963, 1967, 1971 correspondent à des cultures très exigeantes (2 betteraves et 1 pomme de terre). Par contre, la baisse de 1968 et surtout la hausse de 1969 ne s'expliquent pas par

les bilans. La hausse de 1973 correspond par contre à des bilans très positifs du fait des faibles rendements dus à la sécheresse (prélèvements de l'ordre de 54 kg/ha K_2O).

La figure 7 met en parallèle, en fonction des apports potassiques, le bilan global K_2O de 1958 à 1975 selon la Station Agronomique d'Amiens et la variation de K_2O échangeable (par rapport à 110 ppm).



Le point de bilan nul correspond à peu près à la dose K1 dans le cas présent, et aussi au statu quo du niveau K_2O échangeable. Si la liaison est excellente entre les variations de bilan et les variations de K échangeable, il est par contre illusoire de chercher à retrouver quantitativement les variations de bilan dans les variations de la quantité de K_2O échangeable/hectare. Nous verrons plus loin que ce sol est doué d'un pouvoir fixateur notable (50%) vis-à-vis du potassium, ce qui expliquerait le faible entraînement du potassium par lessivage noté par LEFÈVRE sur cet essai (15).

3.4. INFLUENCE DES VARIATIONS CLIMATIQUES ET DES VARIATIONS INCONTRÔLABLES

La figure 6 fait apparaître deux années aberrantes (1959 et 1976) caractérisées par des teneurs anormalement élevées et surtout par des niveaux K_0 très supérieurs à celui d'origine.

Ces deux années se caractérisent par de faibles rendements du fait de sécheresses exceptionnelles. La pluviométrie enregistrée à Roye, poste météorologique le plus proche d'Omiécourt, fut la suivante, pour les cinq mois précédant les prélèvements de terre :

1959: 11 mm en mai, 13 en juin, 8 en juillet, 14 en août, 5 en septembre (total 51 mm),

1976: 20 mm en janvier, 31 en février, 23 en mars, 12 en avril, 25 en mai (total 111 mm).

On peut attribuer ces brusques remontées des teneurs à une libération de potassium. En 1959, celle-ci fut à peu près la même de K_0 à K_3 et le bilan K_2O très positif en K_3 a fait monter considérablement le niveau en K_2O échangeable. En 1976, l'effet sécheresse est moindre, car les prélèvements se sont situés fin mai et il n'y a pas eu de prélèvements après culture en raison de la très grave sécheresse.

Dans les deux cas, on assiste, la ou les années suivantes, à un retour à la situation antérieure. Ainsi les niveaux de 1977 reproduisent à peu près ceux de 1961.

Du fait que chaque année les bilans K_2O ont en général été très différenciés de K_0 à K_3 , le fort parallélisme des quatre courbes semble suggérer que ces mouvements de K_2O ne sont pas sous la dépendance absolue des prélèvements K_2O des diverses cultures et peuvent résulter en partie de variations annuelles (pouvant englober aussi bien des variations de l'état potassique du sol, que des variations dues aux prélèvements — délai après récolte et pluviométrie antérieure — que même des variations dues aux traitements de laboratoire des échantillons). Il a été procédé au calcul de moyennes mobiles sur trois ans représentées en tirets sur la figure 6 (exemple, moyenne 1960, 61, 62 = $0,091^{\circ}/^{\circ}$ représentée sur l'année centrale 1961, etc.).

Il en ressort clairement que l'on est en présence de quatre courbes représentant des évolutions rigoureusement parallèles de quatre états potassiques du sol situés vers $0,09-0,11-0,14$ et $0,18^{\circ}/^{\circ}$.

CONCLUSIONS

Dans le cas de cet essai, il apparaît que chaque année aurait pu exprimer valablement, en valeur relative, l'effet des traitements K_0 , K_1 , K_2 , K_3 sur K_2O échangeable, constatation utile pour juger les statistiques d'analyses de routine (années et cultures confondues).

Cependant, les écarts en valeurs absolues peuvent être notables (exemples: 1964 et 1968) et pourraient entraîner

des conclusions un peu différentes quant à l'appauvrissement et à l'enrichissement.

Il convient surtout d'éviter les années très particulières au point de vue climatique et en particulier les années très sèches (exemples: 1959, 1976).

4 - ROTATION A DOMINANTE MAÏS-GRAIN, DE TYPE MAÏS-CÉRÉALES

Du fait de l'importance de la culture du maïs et de son intérêt au plan expérimental, c'est une culture très fréquente sur les essais permanents de fertilisation où il représente souvent 50 % des cultures de la rotation. Les rotations de type maïs - blé - orge ou plus généralement maïs - céréales pailles sont fréquentes. On examinera ici les principaux résultats obtenus dans de telles conditions, en matière de fertilité potassique. Ils correspondent à des essais implantés dans des régions très différentes, comme la Beauce, la Bresse, les Dombes, le Sud-Ouest, etc.

| | Argile (%) | | Mat. org. (%) | | CEC (meq %) | | K ₂ O éch. (‰) | |
|-------------------------------|------------|----------|---------------|----------|-------------|----------|---------------------------|----------|
| | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol |
| Ozoir le Breuil | 25,0 | 31,8 | 2,9 | 1,5 | 17,6 | — | 0,25 | 0,13 |
| Saint Étienne en Bresse | 9,9 | 12,7 | 1,7 | 0,8 | 10,0 | 9,5 | 0,05 | 0,03 |
| Faramans | 12,1 | 18,2 | 2,0 | 1,1 | 10,3 | 11,5 | 0,06 | 0,05 |
| Sainte Marthe | 13,9 | 14,5 | 1,9 | 1,2 | 8,5 | 7,5 | 0,06 | 0,04 |
| Lagardelle | 14,6 | 14,7 | 1,9 | 1,1 | 11,0 | 9,8 | 0,06 | 0,05 |

Le sol d'Ozoir le Breuil (Eure et Loir) correspond à un limon sur calcaire de Beauce, assez bien pourvu en K₂O.

Le sol de Saint Étienne en Bresse (Saône et Loire) correspond à un limon assez battant et représentatif de nombreux sols de la Bresse chalonnaise (les éléments fins y représentent 58 %) et la pauvreté en potasse est accusée (1 % de la capacité d'échange).

Le sol de Faramans correspond aux limons fins sur alluvions glaciaires des Dombes (les éléments fins non colloïdaux représentent environ 70 % du sol qui est particulièrement pauvre en bases échangeables).

Dans le Sud-Ouest de la France, les essais K ou factoriels N x K où le maïs-grain a été la culture dominante, ont correspondu aux principaux types de sols (sauf les sols sableux des Landes).

Le sol de Sainte Marthe (Lot et Garonne) était typique des boubènes de terrasses (limons fins battants, pauvres en matière organique, à réaction acide, à faible garniture en bases échangeables).

Le sol de Lagardelle sur Lèze (Haute Garonne) correspondait aux alluvions plus ou moins anciennes des vallées de l'Ariège, de la Lèze (limon grossier).

4.1. ESSAI d'OZOIR LE BREUIL (Eure et Loir) 1964-1979

4.1.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET EFFET POTASSE

Le dispositif expérimental est un essai 3x3x3 en confounding avec deux répétitions. Le tableau ci-après rapporte la synthèse des résultats techniques en ce qui concerne l'effet principal potasse et permet de connaître la succession des cultures.

L'essai s'est caractérisé par une réponse positive à la potasse (sauf en 1977 sur blé) régulièrement significative et en moyenne de l'ordre de +6 %. La réponse fut plus nette sur maïs (irrigué depuis 1972).

Effet potasse sur l'essai d'Ozoir le Breuil

| Cultures | K ₂ O kg/ha | | | Effet potasse (q/ha) | | |
|-----------------------------------|------------------------|----|-----|----------------------|-------|-----------------|
| | K0 | K1 | K2 | K0 | K1 | K2 |
| Maïs 1964, 67, 70, 72, 74, 76, 78 | 0 | 88 | 176 | 72,5 | 77,3 | 78,5 |
| Blé 1965, 68, 71, 73, 77 | 0 | 77 | 154 | 59,4 | 60,9 | 60,4 |
| Blé dur 1966, 69, 75 | 0 | 80 | 160 | 34,0 | 36,0 | 36,5 |
| Moyenne/an | 0 | 83 | 166 | 100,0 | 105,5 | 106,4 (indices) |

4.1.2. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE

Des prélèvements parcellaires ont été effectués en novembre 1973 et à l'automne 1979, après blés (analyses laboratoire de Toulouse). Il y a une remarquable correspondance entre les deux séries à six ans d'intervalle.

En 1973, l'effet des doses de K_2O était très marqué et l'interaction $N \times K$ significative. En 1979, l'interaction est nulle.

La comparaison délicate avec l'origine de l'essai indiquerait un certain appauvrissement en K_0 (mais beaucoup moins net que ce qu'on aurait pu supposer, et ce qui expliquerait les rendements K_0), un léger appauvrissement en K_1 et un léger enrichissement en K_2 . L'effet potasse s'est retrouvé en 1979 pour le sous-sol 20-40 cm (respectivement 0,177 - 0,187 - 0,209‰ K_2O).

Essai d'Ozoir le Breuil : K_2O échangeable (‰)

| K \ N | 1973 sols 0-20 cm | | | 1979 sols 0-20 cm | | |
|--------------------------|-------------------|----------------|-------------------------------|-------------------|----------------|----------------|
| | K0 | K1 | K2 | K0 | K1 | K2 |
| N1 | 0,205 | 0,210 | 0,261 | 0,186 | 0,222 | 0,289 |
| N2 | 0,191 | 0,211 | 0,278 | 0,186 | 0,210 | 0,271 |
| N3 | 0,185 | 0,223 | 0,291 | 0,181 | 0,224 | 0,298 |
| Effet K | 0,193 | 0,214** | 0,277*** | 0,185 | 0,219** | 0,286** |
| CV = 10,6 % ppds 0,01 | | | CV = 8,9 % Effet K = 0,022 | | | 0,019 |

4.2. ESSAI de SAINT ÉTIENNE EN BRESSE (Saône et Loire) 1967-1978

4.2.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET EFFET POTASSE

Le dispositif expérimental est un essai factoriel $4N \times 2P \times 4K$ en confondu, en deux sous-blocs de 16 parcelles ; l'essai a été doublé en 1969 et porte sur deux cultures. Le tableau ci-dessous rapporte l'essentiel des résultats tech-

niques en ce qui concerne l'effet principal potasse (les doses ayant été chaque année, sur chaque essai, de 0, 60, 120, 180 kg/ha K_2O).

Effet potasse sur l'essai de Saint Etienne en Bresse

| Essai I | K0 | K60 | K120 | K180 | |
|---|-------|-------|-------|-------|------|
| Maïs 1967, 68, 69, 72, 75, 78 | 41,0 | 51,5 | 52,1 | 53,2 | q/ha |
| Blé 1973, 76 | 36,4 | 39,1 | 38,9 | 40,1 | q/ha |
| Orge 1970, 77 | 17,4 | 19,4 | 21,2 | 21,7 | q/ha |
| Ray-grass-trèfle 1971 | 11,1 | 12,1 | 11,3 | 11,6 | t/ha |
| Féverole 1974 | 24,3 | 31,3 | 32,4 | 32,0 | q/ha |
| Moyenne/an (indices) | 100,0 | 120,5 | 123,1 | 126,4 | |
| Essai II | K0 | K60 | K120 | K180 | |
| Maïs 1971, 72, 73, 74, 78 | 34,5 | 52,0 | 55,0 | 55,6 | q/ha |
| Orge 1975 | 37,7 | 43,5 | 45,0 | 47,7 | q/ha |
| Ray-grass-trèfle 1969, 70 et 1976-77 | 8,1 | 9,3 | 9,4 | 9,3 | t/ha |
| Moyenne/an (indices) | 100,0 | 137,3 | 144,7 | 146,1 | |

Il convient de noter que des apports de fumier de ferme ont été réalisés uniformément à raison de 30 t/ha en 1972, 44 t/ha en 1975 et 24 t/ha (58 kg K_2O) en 1978 sur les trois derniers maïs de l'essai I et de 23 t/ha (92 kg K_2O) en 1973 sur l'essai II.

L'effet potasse est très important et très significatif sur les

deux essais, mais encore plus marqué sur l'essai II qui n'a reçu qu'un apport de fumier de ferme.

Des rendements médiocres sont obtenus sur cet essai sur céréales et de très bons rendements sur les mélanges ray-grass d'Italie, trèfle violet en deuxième année (1970-1977).

4.2.2. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE

Des analyses parcellaires ont été effectuées sur des prélèvements de fin février 1975.

Les effets des traitements sont plus faibles sur l'essai 2, plus récent que l'essai 1 et dont les prélèvements ont été plus élevés.

Sur la sole 1, l'enrichissement en K_2O est à peine perceptible avec K_{120} et très net avec K_{180} (les mêmes tendances apparaissent en sous-sol et traduisent donc une migration assez nette de l'engrais potassique).

Essai de Saint Étienne en Bresse : K_2O échangeable (‰)

| | | K0 | K60 | K120 | K180 |
|--------------|-------------------|-------|---------|---------|----------|
| Sole 1 | Sol 0-20 cm | 0,031 | 0,053** | 0,086** | 0,131*** |
| | Sous-sol 20-40 cm | 0,024 | 0,042** | 0,060** | 0,086*** |
| Sole 2 | Sol 0-20 cm | 0,035 | 0,049 | 0,066** | 0,094*** |
| | Sous-sol 20-40 cm | 0,021 | 0,040* | 0,052** | 0,078*** |

4.3. ESSAI de FARAMANS (Ain) 1968-1978

4.3.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET EFFET POTASSE

Le dispositif expérimental est un essai factoriel $2N \times 2P \times 4K$ à trois blocs en split-plot comprenant au niveau du bloc deux grandes parcelles N1 et N2 subdivisées chacune en huit sous-parcelles pour les combinaisons de

(P1, P2) \times (K0, K1, K2, K3). L'essai s'est caractérisé par une réponse positive, le plus souvent significative à la potasse, mais avec un plafonnement de cette réponse en K1 ou K2.

Effet potasse sur l'essai de Faramans

| Cultures | K ₂ O (kg/ha) | | | | K0 | Effet potasse (q/ha) | | |
|----------------------------------|--------------------------|-----------|------------|------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | K0 | K1 | K2 | K3 | | K0 | K1 | K2 |
| Mais 1970, 71, 72, 73, 75, 77 .. | 0 | 63 | 126 | 190 | 48,6 | 61,7 | 62,8 | 62,4 |
| Blé 1969, 76, 78 | 0 | 53 | 106 | 160 | 41,6 | 46,2 | 45,4 | 45,4 |
| Colza 1968 | 0 | 100 | 200 | 300 | 15,7 | 17,0 | 16,9 | 16,3 |
| Tournesol 1974 | 0 | 60 | 120 | 180 | | Pas de contrôle | | |
| Moyenne/an | 0 | 64 | 128 | 192 | 100,0 ¹⁾ | 122,4 ¹⁾ | 123,8 ¹⁾ | 122,0 ¹⁾ |

¹⁾ indice

4.3.2. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE

En fin d'essai, les sols des 48 parcelles ont été analysés ainsi que les sous-sols des parcelles K3.

Il y a eu un certain appauvrissement en K0 qui a amené le sol à un niveau de grave déficience. Il semble y avoir un statu quo en K1 et très net enrichissement en K2 et surtout K3, en l'absence d'effet net sur les rendements de K1 à K3. L'enrichissement des sous-sols K3 semble également très prononcé, traduisant une forte migration en sous-sol.

Essai de Faramans: K₂O échangeable (°/°°)

| | K0 | K64 | K128 | K192 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|
| Sol 0-20cm | 0,033 | 0,065 | 0,127 | 0,160 |
| Sous-sol 20-40cm | — | — | — | 0,150 |

4.4. ESSAI de SAINTE MARTHE (Lot et Garonne) 1961-1970

4.4.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET EFFET POTASSE

Le dispositif expérimental était un essai factoriel $2N \times 3K$ à cinq blocs. La réponse à la potasse a été très nette, l'essai venant d'ailleurs après prairie permanente très peu fertilisée.

Effet potasse sur l'essai de Sainte Marthe

| | K ₂ O (kg/ha) | | | Effet potasse | | | |
|-----------------------------|--------------------------|-----------|------------|---------------|--------------|--------------|----------------|
| | K0 | K1 | K2 | K0 | K1 | K2 | |
| Mais 1961, 62, 63, 65 | 0 | 80 | 120 | 52,7 | 61,1 | 62,0 | q/ha |
| Mais 1966, 67, 69, 70 | 0 | 80 | 160 | 38,8 | 57,3 | 58,8 | q/ha |
| Blé 1968 | 0 | 80 | 160 | 56,1 | 60,2 | 56,8 | q/ha |
| Pomme de terre 1964 | 0 | 120 | 240 | 12,7 | 20,1 | 22,4 | t/ha |
| Moyenne/an | 0 | 84 | 152 | 100,0 | 132,0 | 135,4 | indices |

4.4.2. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE

En fin d'essai (décembre 1970), les sols et sous-sols des 30 parcelles ont été analysés. Les résultats relatifs au potassium furent nets en valeur relative. En effet, en valeur absolue, il n'y a pratiquement pas d'enrichissement perceptible depuis l'origine de l'essai. Les teneurs en K₂O de la première série de prélèvements effectués fin 1960 à raison de deux échantillons par futur bloc, variaient sur l'ensemble du site de 0,04 à 0,10°/°° (moyenne: 0,053°/°°) pour le sol et de 0,03 à 0,05°/°° (moyenne: 0,035°/°°) pour le sous-sol.

La pauvreté des K0 est inchangée ou à peine accrue; il y a à peu près équilibre avec K84 et très léger enrichissement

Essai de Sainte Marthe: K₂O échangeable (°/°°)

| | K0 | K84 | K152 |
|-----------------------|-------|-------|-------|
| Sol (0-20 cm) | 0,049 | 0,066 | 0,075 |
| Sous-sol (20-40 cm) . | 0,034 | 0,053 | 0,069 |

avec K152. La différenciation des trois doses en sous-sol traduit une certaine migration du potassium en sous-sol dans ce type de sol.

4.5. ESSAI de LAGARDELLE sur LÈZE (Haute Garonne) 1964-1970

4.5.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET EFFET POTASSE

Le dispositif expérimental était un essai K (10 blocs de 3 doses) en présence d'une fumure NP uniforme. L'effet

K₂O a été très important sur toutes les cultures et s'est manifesté dès le début de l'essai.

Effet potasse sur l'essai de Lagardelle

| | K ₂ O (kg/ha) | | | Effet potasse (q/ha) | | |
|-------------------------|--------------------------|----|-----|----------------------|--------------------|--------------------|
| | K0 | K1 | K2 | K0 | K1 | K2 |
| Maïs 1964, 66, 68 | 0 | 80 | 160 | 38,4 | 50,3 | 50,8 |
| Blé 1965, 67, 69 | 0 | 60 | 120 | 29,1 | 33,2 | 35,3 |
| Sorgho 1970 | 0 | 80 | 160 | 55,3 | 64,5 | 75,4 |
| Moyenne/an | 0 | 71 | 142 | 100,0 ¹ | 121,6 ¹ | 128,1 ¹ |

1) indice

4.5.2. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE

En fin d'essai, l'appauvrissement semble avoir été très faible en K0 et l'enrichissement très modique en K70 et un peu plus marqué en K140.

En conclusion, l'examen de l'évolution du potassium échangeable sur des essais aussi divers, mais à dominante de maïs-grain (35 maïs sur 65 cultures), montre un appauvrissement général des K0 (-26 ppm K₂O), un équilibre très faiblement négatif (-4 ppm K₂O) pour les doses allant de K60 à K84, un certain enrichissement (+ 33 ppm K₂O) pour les doses allant de K120 à K142 et un enrichissement beaucoup plus franc de 51 ppm K₂O en moyenne pour les doses allant de K152 à K192.

En moyenne sur ces essais, le potassium du sol a été équilibré avec K80.

Essai de Lagardelle : K₂O échangeable (°/°)

| | K0 | K71 | K142 |
|-----------------------|-------|-------|-------|
| Sol 0-20 cm | 0,058 | 0,071 | 0,092 |
| Sous-sol 20-40 cm ... | 0,048 | 0,056 | 0,069 |

5. - ROTATION MAÏS-GRAIN -PRAIRIE TEMPORAIRE (essais de Pau)

La rotation maïs-herbe est assez fréquente dans le Sud-Ouest de la France (Pyrénées Atlantiques en particulier) et depuis quelques années la rotation maïs ensilage - ray-grass ensilage tend à se développer dans d'assez nombreuses régions.

On retiendra ici l'exemple d'un essai poursuivi pendant 18 ans à Pau Saint Léon (Pyrénées Atlantiques), de 1951 à 1968.

5.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET EFFET POTASSE

Le dispositif expérimental a évolué avec le temps en fonction d'ailleurs des résultats concernant le potassium échangeable des parcelles.

1951 à 1961 : l'essai comportait 8 soles subdivisées en 3 parcelles de 2,5 ares correspondant à trois doses : K0, K100, K150.

De 1951 à 1956, le maïs prenait place dans un assolement du type maïs-céréales-fourrages. A partir de 1957, un assolement très simple (maïs-prairie temporaire) fut pratiqué (4 soles en maïs, 4 soles en prairie).

1962 à 1968 : à partir des résultats analytiques de 1960-61 concernant K₂O échangeable, l'essai a été orienté dans le

sens de l'étude du bilan de la potasse sur l'ensemble de la rotation, c'est-à-dire sur 8 ans. A cet effet en 1962, on a scindé en deux les parcelles K1 et K2, étudiant les cinq niveaux 0, 100, 150, 200, 250 kg/ha K₂O. En 1964 on a scindé K0 en K0 et K50. L'essai comportait donc, depuis 1964, 8 soles (4 soles en prairie temporaire, 4 soles en maïs) et six traitements 0, 50, 100, 150, 200, 250 kg/ha K₂O par sole, soit 48 parcelles.

L'essai était situé sur alluvions anciennes, sols très riches en matière organique, avec des teneurs en bases échangeables assez faibles, surtout pour le potassium. Le taux de saturation en potassium (K éch./CEC) était d'ailleurs inférieur à 1 %.

| Argile (%) | | Mat. org. (%) | | CEC (meq %) | | K ₂ O éch. (°/°) | |
|------------|----------|---------------|----------|-------------|----------|-----------------------------|----------|
| Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol |
| 21,7 | 22,8 | 5,9 | 4,7 | 18,0 | 16,7 | 0,06 | 0,05 |

Les résultats sont condensés au maximum dans les tableaux ci-après.

Effet potasse sur l'essai de Pau Saint Léon (1952-1968) - prairie temporaire

| | Rendements t/ha foin à 14% d'eau | | | | | | Exportations moyennes annuelles en kg/ha K ₂ O (déficit total sur la période) | | | | | |
|---|----------------------------------|--------|-------|-------|--------|--------|--|------------|------------|------------|------------|------------|
| | K0 | K50 | K100 | K150 | K200 | K250 | K0 | K50 | K100 | K150 | K200 | K250 |
| 1952 à 1956 soles diverses ray-grass d'Italie-trèfle blanc (avec N80 P80) | 7,90 | — | 11,70 | 12,50 | — | — | 67 | — | 198 | 235 | — | — |
| 1957 à 1960 soles 1, 2, 3, 4, mélanges divers (avec N100 P100) | 6,60 | — | 10,24 | 11,09 | — | — | 69 | — | 204 | 281 | — | — |
| | | | | | | | 276 | | 416 | 524 | | |
| 1961 à 1964 soles 5, 6, 7, 8, mélanges divers (avec N115 P100) | 4,42 | (5,10) | 7,66 | 8,41 | (9,04) | (8,94) | 33 | 41 | 160 | 183 | 242 | 256 |
| | | | | | | | 130 | 112 | 240 | 182 | 217 | 126 |
| 1965 à 1968 soles 1, 2, 3, 4, luzerne-fétuque (avec N260 P100) | 6,50 | 11,38 | 12,85 | 14,30 | 15,68 | 16,78 | 36 | 101 | 194 | 264 | 347 | 416 |
| | | | | | | | 144 | 204 | 378 | 456 | 558 | 664 |

Effet potasse sur l'essai de Pau Saint Léon (1952-1968) - maïs-grain

| Grains secs (15% eau) q/ha | K0 | K50 | K100 | K150 | K200 | K250 |
|--|-------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1952 à 1956 soles diverses | 48,2 | — | 58,1 | 67,1 | — | — |
| 1957 à 1960 soles 5, 6, 7, 8 | 26,8 | — | 72,8 | 76,4 | — | — |
| 1961 à 1964 soles 1, 2, 3, 4 | 32,6 | (62,0) | 76,6 | 81,3 | (83,6) | (83,0) |
| 1965 à 1968 soles 5, 6, 7, 8 | 6,1 | 58,0 | 77,3 | 81,7 | 89,7 | 91,9 |
| Moyenne générale 18 ans | 28,4 | (60,0) | 71,1 | 76,6 | 86,6 | 87,4 |

5.2. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE

La détermination systématique du potassium a été faite sur toutes les parcelles à l'issue de chaque période de 4 ans (fin 1960, début 1965, début 1969).

prairie temporaire, uniformément pauvres quelle que soit la dose de K₂O, soles 5, 6, 7, 8 après maïs, enrichies avec K150), on espérait équilibrer à peu près le bilan sur 8 ans en montant la dose supérieure à K250 aussi bien sur maïs que sur mélange fourrager.

A partir des résultats de fin 1960 (soles 1, 2, 3, 4 après

K₂O échangeable (°/°), fin 1960, début 1965, début 1969

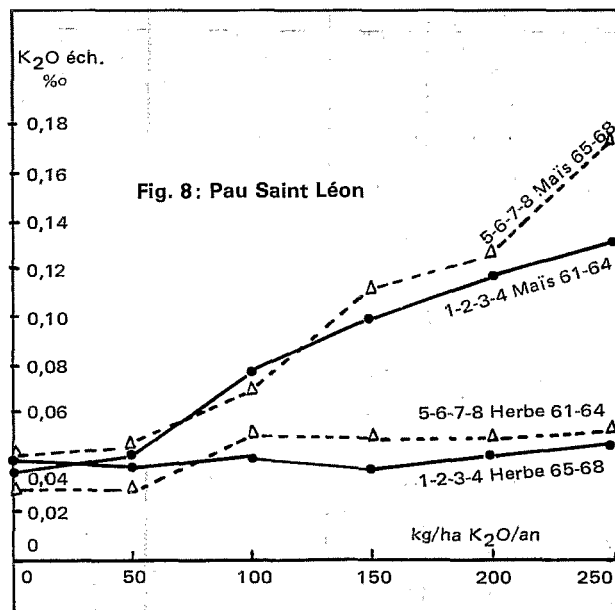
| Soles N ^{os} après | Profondeur (cm) | Ancienne bande K0 K0 de 1951 à 1963 | | Ancienne bande K100 K100 de 1951 à 1961 | | Ancienne bande K150 K150 de 1951 à 1961 | | ppds | |
|---------------------------------|-----------------|-------------------------------------|-------|---|----------|---|----------|-------|-------|
| | | En 1964 | | A partir de 1962 | | A partir de 1962 | | 0,05 | 0,01 |
| | | K0 | K50 | K100 | K150 | K200 | K250 | | |
| 1, 2, 3, 4 prairie (fin 1960) | 0-20 | 0,06 | | 0,07 | | 0,07 | | — | — |
| | 20-40 | 0,06 | | 0,05 | | 0,06 | | — | — |
| 5, 6, 7, 8 maïs | 0-20 | 0,06 | | 0,11 | | 0,15 | | — | — |
| | 20-40 | 0,04 | | 0,07 | | 0,09 | | — | — |
| 1, 2, 3, 4 maïs (début 1965) | 0-20 | 0,037 | 0,042 | 0,077** | 0,100** | 0,117*** | 0,130*** | 0,023 | 0,033 |
| | 20-40 | 0,030 | 0,032 | 0,045** | 0,047** | 0,055** | 0,057** | 0,010 | 0,015 |
| 5, 6, 7, 8 prairie | 0-20 | 0,030 | 0,030 | 0,052** | 0,050* | 0,050* | 0,052** | 0,015 | 0,021 |
| | 20-40 | 0,030 | 0,027 | 0,035 | 0,035 | 0,040* | 0,040* | 0,009 | 0,013 |
| 1, 2, 3, 4 prairie (début 1969) | 0-20 | 0,040 | 0,037 | 0,042 | 0,037 | 0,042 | 0,047 | — | — |
| | 20-40 | 0,030 | 0,032 | 0,035 | 0,035 | 0,035 | 0,037 | — | — |
| 5, 6, 7, 8 maïs | 0-20 | 0,040 | 0,047 | 0,072** | 0,112*** | 0,127*** | 0,175*** | 0,022 | 0,030 |
| | 20-40 | 0,030 | 0,035 | 0,042 | 0,050** | 0,050** | 0,075*** | 0,014 | 0,019 |

La figure 8 représente l'évolution de K_2O échangeable après les périodes de 4 années, soit de maïs, soit de prairie temporaire.

Les analyses de début 1956 ont confirmé l'enrichissement après maïs à partir de K150, mais après prairie temporaire, les trois années d'application de K200 et K250 (1962 à 1964) n'ont pas nettement déplacé le problème.

Les analyses de début 1969, en fin d'essai, donnent une image inversée de celle de 1965 pour les deux groupes de soles. Après prairie, les soles 1, 2, 3, 4 se retrouvent à un niveau uniformément très bas, quelle que soit la dose de K_2O . La baisse de K_2O échangeable en 4 ans croît de K0 (gain de 3 ppm) à K250 (perte de 83 ppm) parallèlement au déficit total (144 à 664 kg K_2O). Elle ne rend compte que d'une partie de l'appauvrissement. Après maïs (soles 5, 6, 7, 8), l'enrichissement devient très net avec K250 (+ 123 ppm).

L'essai de Pau Saint Léon a montré que dans le cadre de la rotation pratiquée (4 ans de prairie temporaire et 4 ans de maïs-grain), il était très difficile d'enrichir le sol en K_2O échangeable par la seule fertilisation minérale, car l'exportation par la prairie intensive (recevant N260) fut de l'ordre de 350 kg/ha/an.



6. - CULTURE CONTINUE DU MAÏS

L'essai précédent de Pau Saint Léon répond en partie à la question de l'enrichissement des sols en potasse sous maïs, puisqu'il a présenté trois séquences maïs de quatre années chacune. On y constate un enrichissement important dès K150. La dose correspondant au profit maximum était une dose de bilan K_2O nettement positif. Ces résultats ont été confirmés sur un autre essai situé à Pau Pont Long.

| Argile (%) | | Mat. org. (%) | | CEC (meq %) | | K_2O éch. (°/°) | |
|------------|----------|---------------|----------|-------------|----------|-------------------|----------|
| Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol |
| 21,1 | 23,6 | 7,4 | 3,7 | — | — | 0,04 | 0,02 |

Le sol de cet essai correspondait à une lande à fougères, défrichée en 1963, juste avant l'essai, à très forte teneur en matière organique, forte acidité, très grande pauvreté en potassium, calcium, magnésium.

Le dispositif expérimental était un essai 3K x 3Ca x 3Mg en confounding avec deux répétitions (1963 à 1968).

En ce qui concerne les traitements K_2O , les doses totales apportées sur six ans furent de 125, 655, 1185 kg/ha K_2O (soit en moyenne K20, K110, K200, les traitements K0 ayant dû être interrompus à partir de 1966).

Partant d'une défriche, les rendements se sont élevés progressivement avec les années et l'effet principal de la potasse fut de : 15,6 - 41,5 - 42,3 q/ha grains pour la période 1963 à 1965 et 32,6 - 52,5 - 54,3 pour la période 1966 à 1968.

Essai de Pau Pont Long : K_2O échangeable (°/°)

| K_2O (kg/ha) sur 6 ans | Profondeur en cm | | |
|--------------------------|------------------|---------|--------|
| | 0-20 | 20-40 | 40-60 |
| K 125 | 0,065 | 0,033 | 0,031 |
| K 655 | 0,089* | 0,045* | 0,034 |
| K1185 | 0,119** | 0,055** | 0,041* |
| ppds 0,05 | 0,025 | 0,010 | 0,006 |
| ppds 0,01 | 0,034 | 0,012 | 0,008 |

En fin d'essai, après 6 ans de maïs, l'analyse du sol a été effectuée par parcelles et à trois niveaux. L'effet des doses

de potasse fut très positif et très hautement significatif sur la teneur en K_2O échangeable.

Donc, en culture continue du maïs sur les essais de Pau, avec enfouissement des tiges, le niveau du sol en K_2O a pu être porté de 0,04 à environ 0,12 °/° en 4 à 6 ans avec une dose de l'ordre de K200.

On dispose d'un certain nombre d'études sur le problème de l'évolution de la fertilité potassique sous maïs (*Dossier K_2O antérieur*).

SOYER et al, en 1976, à partir des premiers résultats d'un récent réseau d'essais potasse, estiment qu'en sols « normalement » pourvus en potassium, une fertilisation potassique correspondant aux exportations par les grains, affectées d'un coefficient multiplicateur de 1 à 1,5 (selon les risques de lessivage), paraît permettre le maintien du niveau de K échangeable du sol en monoculture de maïs (30).

Sur leur essai de Doazit en Chalosse, après 3 maïs, le traitement K0 perdait 23 ppm K échangeable, le traitement ($K = 1,5 \times$ exportation) gagnait 4 ppm et le traitement ($K = 3 \times$ exportation) seulement 10 ppm. Les Auteurs constataient qu'avec ce dernier traitement, l'augmentation de K échangeable était nettement plus faible que selon les indications du bilan cultural. Ils ont cependant estimé que la dose d'entretien était de l'ordre de K40 dans de telles conditions.

Dans le cas des sols sableux des Landes, très faiblement pourvus au départ, en termes de K échangeable (22 ppm), ces Auteurs obtenaient après 8 ans de maïs des taux de 11, 19, 20 ppm K échangeable avec des applications annuelles de K0, K26, K54. Le rendement K0 pouvait encore atteindre 70 q/ha contre 90 à 100 q/ha en K54. Le test du K échangeable semble en défaut dans ce type de sols pour mesurer le statut potassique du sol et son évolution dans le temps. Des doses très sensiblement supérieures sont d'ailleurs apportées, mais SOYER et al déconseillent dans ces condi-

tions les doses de l'ordre de K200 en raison principalement des pertes de potassium par lessivage, qui selon les études de COURPRON pourraient atteindre 60 kg K₂O/ha/an.

En conditions de sols moins particulières, avec maïs grain et enfouissement des tiges, la dose de K150 réalise un assez bon enrichissement du sol. Par contre, les doses de l'ordre de K80 semblent bien être des doses d'équilibre du niveau de K₂O/ha échangeable du sol.

7. - ROTATIONS A BASE DE CULTURES FOURRAGÈRES

Ce sont des rotations fréquentes dans l'Ouest de la France notamment et en Bretagne, incluant en particulier betteraves fourragères et choux fourragers. Elles ont donné lieu à de nombreux essais SCPA :

- Pont Saint Martin (44) : sur alluvions anciennes sur schiste, limon sableux à faible complexe absorbant, faible taux de saturation en bases (50 %) et à niveau potassique très insuffisant.
- Rennes (35) : terre silico-argileuse, riche en matière organique et nettement pauvre en potasse.
- Laval (53) : limon fin bien pourvu en matière organique, très pauvre en bases échangeables, particulièrement potasse et magnésie.
- Notre Dame de Clarté (56) : terre sablo-limoneuse, très riche en matière organique, à taux de saturation en bases très faible (37 %).
- Crevin (35) : limon fin, assez riche en matière organique, à taux de saturation en bases moyen (60 %) et pH 6,5.

| Essais | Argile (%) | | Mat. org. (%) | | CEC (meq %) | | K ₂ O éch. (‰) | |
|-------------------|------------|----------|---------------|----------|-------------|----------|---------------------------|----------|
| | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol |
| Pont Saint Martin | 8,9 | 11,1 | 2,9 | 2,0 | 8,1 | 7,4 | 0,07 | 0,06 |
| Rennes | 14,8 | 16,1 | 3,4 | 1,7 | 14,0 | — | 0,07 | 0,05 |
| Laval | 14,2 | 15,8 | 3,2 | 1,6 | 10,8 | 9,7 | 0,07 | 0,04 |
| N. Dame de Clarté | 13,9 | 13,9 | 5,1 | 3,7 | 15,2 | 12,0 | 0,09 | 0,06 |
| Crevin | 19,5 | 23,7 | 4,1 | 3,0 | 13,3 | 12,0 | 0,12 | 0,07 |

7.1. ESSAI de PONT SAINT MARTIN (Loire Atlantique) 1962-1973

7.1.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET EFFET POTASSE

Le dispositif expérimental était composé de deux essais jumelés (l'un avec fumier, l'autre sans fumier). Chaque essai était un factoriel 4N × 2P × 4K, confondu en deux sous-blocs de 16 parcelles chacun. La rotation choisie en début d'essai était de cinq ans, avec six cultures (pomme de terre, blé, orge, prairie temporaire, prairie temporaire + choux fourragers). Elle devait être identique sur les deux essais avec et sans fumier, mais décalée de deux ans de manière à ne pas avoir la même culture sur l'ensemble. En fait, l'essai a évolué différemment (tableau suivant). L'essai II, avec fumier, a reçu les épandages uniformes suivants de fumier : 30 t/ha en mars 1972, 32 t/ha en février 1967, 36 t/ha en janvier 1973, qui ont apporté respectivement 123, 166 et 194 kg/ha K₂O. En 1972, sur l'essai I, l'échelonnement K0, K1, K2, K3 a été remplacé par K1, K2, K3, K4, en raison de l'état

de très grave déficience potassique des K0 (une seule parcelle K0 fut conservée comme « musée »).

Le tableau suivant rapporte l'essentiel des résultats techniques en ce qui concerne l'effet potasse (au niveau de l'effet principal). La prairie temporaire (rendements en t/ha de foin à 14 % d'eau) a toujours consisté en un mélange de ray-grass d'Italie et trèfle violet.

Exprimée globalement en indices par rapport à K0 = 100, la réponse à la potasse fut considérable dans ce sol pauvre et sur des cultures grosses consommatrices de K₂O, et particulièrement sur l'essai sans fumier. Mais de K1 à K2 le rendement s'élève encore de 10,6 % sur l'essai sans fumier et de 5,5 % sur l'essai avec fumier. Par contre, l'effet potasse semble avoir plafonné vers K160.

| Essai I sans fumier Rotation | K ₂ O (kg/ha) | | | | Effet potasse | | | | |
|---------------------------------|--------------------------|-----|-----|-----|---------------|----------|----------|----------|-------------|
| | K0 | K1 | K2 | K3 | K0 | K1 | K2 | K3 | |
| 1962 Sweet Sudan grass | 0 | 40 | 80 | 120 | 7,19 | 7,58 | 6,90 | 7,85 | t/ha |
| 1963 Prairie temporaire | 0 | 100 | 200 | 300 | 9,2 | 10,1 | 11,0 ** | 11,3 ** | t/ha |
| 1964 Prairie temporaire | 0 | 100 | 200 | 300 | 6,23 | 8,84*** | 9,63*** | 8,99*** | t/ha |
| 1964 Choux fourragers | 0 | 100 | 200 | 300 | 3,21 | 6,08*** | 6,68*** | 6,92** | t/ha (M.S.) |
| 1965 Pomme de terre | 0 | 100 | 200 | 300 | 7,3 | 38,5 *** | 49,8 *** | 51,7 *** | t/ha |
| 1966 Blé | 0 | 50 | 100 | 150 | 14,9 | 21,6 * | 23,8 ** | 22,3 ** | q/ha |
| 1967 Orge | 0 | 40 | 80 | 120 | 24,0 | 32,5 ** | 30,8 * | 27,3 | q/ha |
| 1968 Prairie temporaire | 0 | 100 | 200 | 300 | 11,37 | 14,82** | 15,67*** | 15,66*** | t/ha |
| 1969 Prairie temporaire | 0 | 100 | 200 | 300 | 6,44 | 9,33*** | 9,20*** | 8,97*** | t/ha |
| 1970 Blé | 0 | 50 | 100 | 150 | 5,8 ! | 38,7 ** | 46,5 *** | 49,1 *** | q/ha |
| 1971 Maïs | 0 | 100 | 200 | 300 | 12,6 | 63,0 *** | 66,3 *** | 64,6 *** | q/ha |
| 1972 Maïs | (0)50 | 150 | 250 | 350 | (5,5) | 18,1 | 47,1 *** | 49,1 *** | q/ha |
| 1973 Maïs | (0)50 | 100 | 150 | 200 | (43,2) | 68,7 | 73,1 | 78,8 ** | q/ha |
| Moyenne/an | 0 | 87 | 166 | 245 | 100,0 | 293,9 | 325,3 | 323,8 | indices |

| Essai II avec fumier Rotation | K ₂ O (kg/ha) | | | | Effet potasse | | | | |
|----------------------------------|--------------------------|-----|-----|-----|---------------|----------|----------|----------|-------------|
| | K0 | K1 | K2 | K3 | K0 | K1 | K2 | K3 | |
| 1962 Pomme de terre | 0 | 100 | 200 | 300 | 16,4 | 18,4 ** | 19,5 *** | 20,3 *** | t/ha |
| 1963 Blé | 0 | 50 | 100 | 150 | 43,4 | 46,0 | 47,0 * | 48,0 ** | q/ha |
| 1964 Orge | 0 | 40 | 80 | 120 | 39,5 | 41,5 | 42,0 | 39,8 | q/ha |
| 1965 Prairie temporaire | 0 | 100 | 200 | 300 | 13,3 | 17,5 *** | 19,3 *** | 19,6 *** | t/ha |
| 1966 Prairie temporaire | 0 | 100 | 200 | 300 | 6,50 | 7,94*** | 8,19*** | 7,98*** | t/ha |
| 1966 Choux | 0 | 100 | 200 | 300 | 2,27 | 5,67*** | 6,06** | 6,44** | t/ha (M.S.) |
| 1967 Pomme de terre | 0 | 100 | 200 | 300 | 19,3 | 26,6 *** | 28,6 *** | 28,4 *** | t/ha |
| 1968 Blé | 0 | 50 | 100 | 150 | 43,8 | 54,5 *** | 54,4 *** | 52,9 *** | q/ha |
| 1969 Orge | 0 | 40 | 80 | 120 | 28,6 | 37,0 ** | 36,2 ** | 34,5 ** | q/ha |
| 1970 Prairie temporaire | 0 | 100 | 200 | 300 | 7,16 | 9,36*** | 10,14*** | 9,52*** | t/ha |
| 1971 Prairie temporaire | 0 | 100 | 200 | 300 | 5,65 | 8,83*** | 9,23*** | 9,22*** | t/ha |
| 1972 Blé | 0 | 50 | 100 | 150 | 18,5 | 47,5 *** | 52,3 *** | 52,8 *** | q/ha |
| 1973 Betteraves fourragères | 0 | 100 | 200 | 300 | 7,40 | 8,81*** | 9,25*** | 9,25*** | t/ha |
| Moyenne/an | 0 | 79 | 158 | 237 | 100,0 | 144,6 | 152,5 | 152,6 | indices |

7.1.2. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE ET BILANS DE FERTILISATION

L'essai a été suivi par des analyses parcelaires des divers organes récoltés, et il est possible d'établir avec précision les bilans de fertilisation. D'autre part, des analyses parcelaires d'échantillons de sols et sous-sols sont intervenues fin 1966,

après six ans, et en fin d'essai (octobre 1973), de telle sorte qu'il est possible de rapprocher les bilans théoriques de l'évolution du K₂O échangeable (tableau du haut de la page ci-contre).

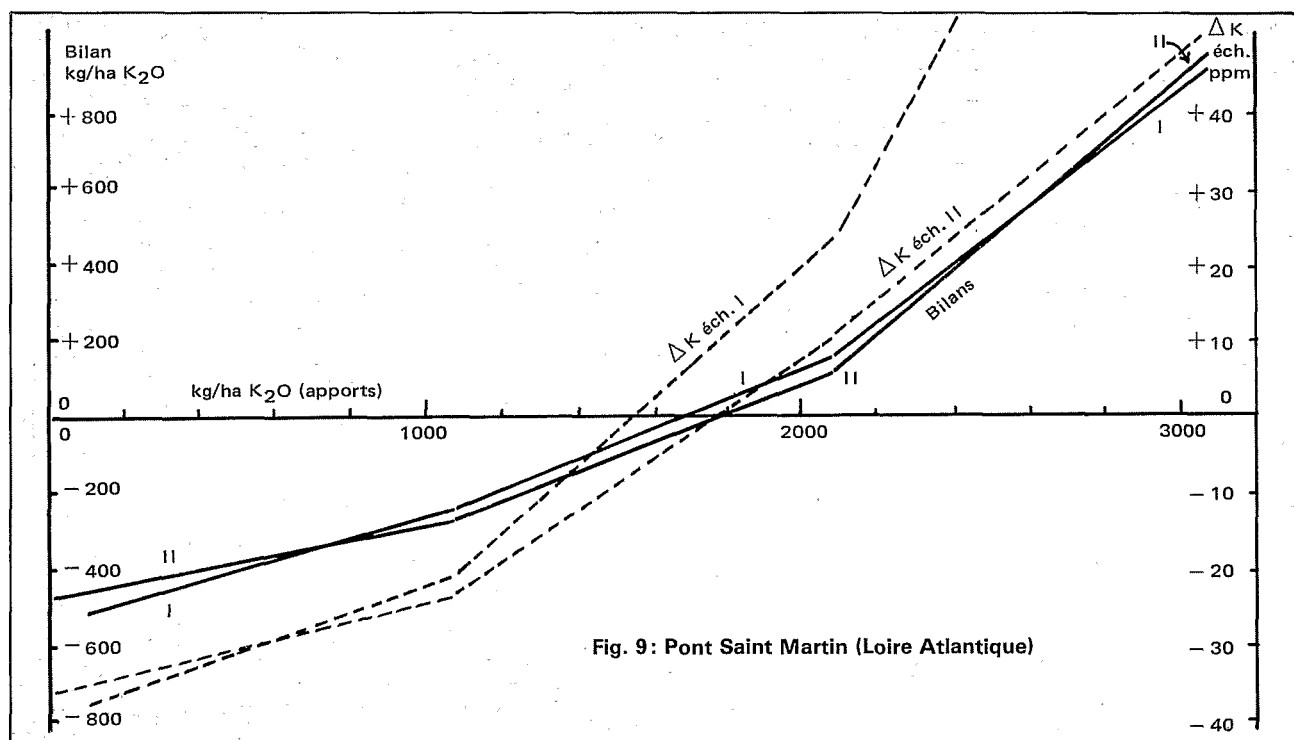


Fig. 9: Pont Saint Martin (Loire Atlantique)

La figure 9 précédente met en parallèle, en fonction des apports potassiques, le bilan global K₂O sur la durée des essais et la variation de K₂O échangeable en cours d'essais. Les courbes des bilans des deux essais sont à peu près confondues. Il y a une certaine discordance entre les courbes Δ K à l'enrichissement, et une bonne concordance à l'appauvrissement.

Les points d'équilibre de K₂O échangeable correspondent à peu près aux points de bilan nul (1600 à 1800 kg K₂O). La dose K2 (K160 environ) qui a donné les meilleurs résultats correspond à des bilans très légèrement positifs et à un très modeste enrichissement du sol. La dose K3 (K240 environ) moins bonne en termes économiques, a seule permis un réel enrichissement du sol.

Essai I (sans fumier) - bilans K₂O (en kg/ha) et évolution K₂O échangeable

| | Prairie temporaire | | Choux 1964 | Pomme de terre 1965 | Blé 1966 | Orge 1967 | Prairie temporaire | | Blé 1970 | Maïs 1971 | Maïs 1972 | Maïs 1973 |
|----|-----------------------------|--------|---------------|---|-------------|------------------------|--------------------|-------|--|--------------|--------------|--------------|
| | 1963 | 1964 | | | | | 1968 | 1969 | | | | |
| K0 | -154 | -72 | -43 | -20 | -18 | -17 | -117 | -60 | -7 | -12 | +18 | -10 |
| K1 | -101 | -58 | -35 | -43 | +15 | +10 | -121 | -37 | +6 | +27 | +73 | +1 |
| K2 | -50 | -12 | -16 | -26 | +58 | +43 | -125 | +5 | +33 | +115 | +153 | +11 |
| K3 | +21 | +22 | +42 | +25 | +105 | +73 | -88 | +122 | +81 | +192 | +255 | +52 |
| | Bilan 5 cultures 1963-4-5-6 | | | K ₂ O échang. (°/°°) fin 1966 | | Bilan global 1963-1973 | | | K ₂ O échang. (°/°°) 23 octobre 1973 | | | |
| | Apport | Export | Bilan | Sol | Sous-sol | Apport | Export | Bilan | Sol | Sous-sol | | |
| K0 | 0 | 307 | -307 | 0,03 | 0,03 | 100 | 612 | -512 | 0,031 | 0,021 | | |
| K1 | 450 | 672 | -222 | 0,05* | 0,04 | 1090 | 1353 | -263 | 0,048* | 0,030 | | |
| K2 | 900 | 946 | -46 | 0,06** | 0,05* | 2080 | 1891 | +189 | 0,095** | 0,043** | | |
| K3 | 1350 | 1135 | +215 | 0,13*** | 0,06** | 3070 | 2168 | +902 | 0,181*** | 0,067*** | | |

Essai II (avec fumier) - bilans K₂O (en kg/ha) et évolution K₂O échangeable

| | Pomme de terre 1962 | Blé 1963 | Orge 1964 | Prairie temporaire | | Choux 1966 | Pomme de terre 1967 | Blé 1968 | Orge 1969 | Prairie temporaire | | Blé 1972 | Bett. fourr. 1973 |
|----|---------------------------|-------------|----------------|-----------------------|--|---------------|---------------------------|-------------|----------------|-----------------------|---|-------------|-------------------------|
| | | | | 1965 | 1966 | | | | | 1970 | 1971 | | |
| K0 | -91 | -39 | -59 | -161 | -58 | -32 | -102 | -46 | -33 | -84 | -51 | -24 | -188 |
| K1 | -11 | +6 | -37 | -189 | -13 | -53 | -67 | -24 | -27 | -67 | -65 | -30 | -188 |
| K2 | +74 | +54 | -11 | -192 | +38 | -55 | -4 | +13 | -5 | -4 | -59 | -9 | -186 |
| K3 | +162 | +100 | +31 | -158 | +110 | -15 | +75 | +53 | +39 | +123 | +65 | +50 | -155 |
| | Bilan 1963-4-5-6 | | | | K ₂ O éch. (°/°°) fin 1966 | | Bilan global (1962-73) | | | | K ₂ O éch. (°/°°) 23 octobre 1973 | | |
| | Apport | Export | Sans fumier | Avec fumier | Sol | Sous-sol | Apport | Export | Sans fumier | Avec fumier | Sol | Sous-sol | |
| K0 | 0 | 440 | -440 | -317 | 0,03 | 0,03 | 0 | 966 | -966 | -483 | 0,032 | 0,023 | |
| K1 | 490 | 787 | -297 | -174 | 0,04 | 0,04 | 1030 | 1795 | -765 | -282 | 0,046** | 0,026 | |
| K2 | 980 | 1072 | -92 | +31 | 0,05* | 0,05* | 2060 | 2406 | -346 | +137 | 0,079*** | 0,042** | |
| K3 | 1470 | 1240 | +230 | +353 | 0,09** | 0,06** | 3090 | 2610 | +480 | +963 | 0,120*** | 0,073** | |

7.2. ESSAI de RENNES (Ille et Vilaine) 1962-1969

7.2.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET EFFET POTASSE

Cet essai fut poursuivi pendant 8 ans, en liaison avec l'École Nationale Agronomique de Rennes. Le dispositif expérimental était un essai factoriel 4N × 2P × 4K confondu

en deux sous-blocs de 16 parcelles.

L'essai s'est caractérisé par une très forte réponse à K₂O jusqu'à la dose supérieure K3.

Effet potasse sur l'essai de Rennes

| Cultures | K ₂ O (kg/ha) | | | | | Effet potasse | | | |
|----------------------------------|--------------------------|-----------|------------|------------|--------------|---------------|--------------|--------------|----------------|
| | K0 | K1 | K2 | K3 | K0 | K1 | K2 | K3 | |
| Luzerne-ray-grass (1962, 66, 67) | 0 | 82 | 163 | 245 | 8,86 | 9,52 | 9,51 | 9,60 | t/ha M.S. |
| Betteraves fourr. (1963, 68) | 0 | 112 | 225 | 337 | 26,1 | 46,0 | 57,0 | 63,4 | t/ha vert |
| Blé (1964, 69) | 0 | 50 | 100 | 150 | 32,2 | 46,4 | 46,4 | 50,0 | q/ha |
| Escourgeon (1965) | 0 | 40 | 80 | 120 | 29,6 | 43,4 | 44,4 | 41,8 | q/ha |
| Choux fourragers (1967) | 0 | 75 | 150 | 225 | 35,5 | 41,4 | 42,9 | 43,6 | t/ha vert |
| Moyenne/an | 0 | 85 | 170 | 255 | 100,0 | 143,5 | 156,6 | 165,3 | indices |

7.2.2. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE ET BILANS DE FERTILISATION

Des échantillons parcelaires de sol et de sous-sol ont été prélevés début février 1970, à la fin de l'essai.

Les doses de potasse ont eu un effet positif très haute-

ment significatif sur la potasse échangeable du sol et du sous-sol.

Essai de Rennes : K₂O échangeable (‰/‰)

| | K0 | K85 | K170 | K255 | Moyennes | ppds | | CV % |
|----------------|-------|---------|----------|----------|----------|-------|-------|------|
| | | | | | | 0,05 | 0,01 | |
| Sol | 0,037 | 0,050** | 0,065*** | 0,097*** | 0,062 | 0,008 | 0,011 | 13,3 |
| Sous-sol | 0,027 | 0,032 | 0,038* | 0,076*** | 0,043 | 0,010 | 0,014 | 23,7 |

Il semble qu'il y ait eu appauvrissement marqué avec K0 et K85, équilibre avec K170 et un certain enrichissement avec K255.

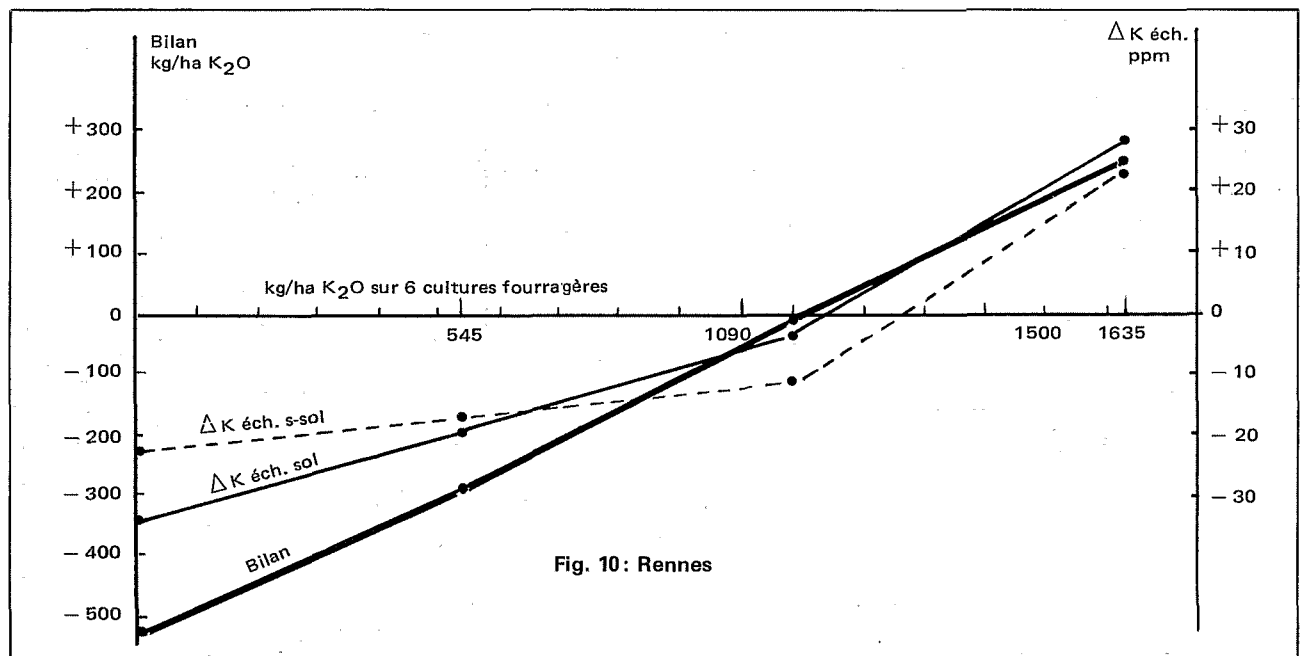
Ces résultats, très faibles au niveau de l'enrichissement des sols en potasse, tiennent aux cultures pratiquées à

dominante de cultures fourragères grosses exportatrices de K₂O (sur 9 cultures, il y a eu en effet 6 cultures fourragères grosses exportatrices de K₂O et 3 céréales). Les bilans effectifs pour ces six cultures ont été déterminés d'une manière précise par les analyses d'échantillons parcelaires.

Essai de Rennes : bilans en kg/ha K₂O

| | 1962 Prairie temporaire | 1963 Bett. fourr. | 1966 Prairie temporaire | 1967 Prairie + choux | 1968 Bett. fourr. | Bilans cumulés cult. fourr. |
|----|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| K0 | -204 | -90 | -93 | -94 | -37 | -518 |
| K1 | -156 | -54 | -34 | -44 | -6 | -294 |
| K2 | -92 | +8 | +48 | +28 | -18 | -26 |
| K3 | -42 | +49 | +134 | +156 | -25 | +272 |

Pour ces 6 cultures, les apports totaux de K₂O furent de 0, 545, 1090, 1635 kg/ha K₂O.



La figure 10 met en parallèle, en fonction des apports potassiques, le bilan global K₂O sur les cultures fourragères et la variation de K₂O échangeable en cours d'essai. Le

parallélisme est très net pour le sol et un peu moins évident en sous-sol. Le point d'équilibre de K₂O échangeable correspond assez sensiblement au point de bilan nul.

7.3. ESSAI de LAVAL (Mayenne) 1968-1979

7.3.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET EFFET POTASSE

Cet essai a débuté en 1968 en liaison avec le Lycée Agricole de Laval, sur le domaine de celui-ci. Le dispositif expérimental est un essai factoriel 3N×3P×3K, réalisé en confounding (3 sous-blocs de 9 parcelles).

L'essai s'est caractérisé par une très forte réponse à K₂O (ainsi d'ailleurs qu'à P₂O₅). On note cependant un plafonnement de la réponse de K2 à K3 (tableau du haut de la page ci-contre).

Effet potasse sur l'essai de Laval

| Cultures | K ₂ O (kg/ha) | | | Effet potasse | | | |
|---------------------------------|--------------------------|------------|------------|---------------|--------------|--------------|----------------|
| | K0 | K2 | K3 | K0 | K2 | K3 | |
| Orge (1968, 74) | 0 | 100 | 150 | 41,6 | 45,6 | 43,2 | q/ha |
| Ray-grass-trèfle (1969, 70) ... | 0 | 150 | 225 | 9,83 | 10,79 | 10,36 | t/ha |
| Blé (1971, 73, 78) | 0 | 100 | 150 | 44,2 | 58,6 | 58,6 | q/ha |
| Maïs (1972, 75, 76, 77) | 0 | 117 | 191 | 4,17 | 6,90 | 7,15 | t/ha |
| Moyenne/an | 0 | 155 | 178 | 100,0 | 142,0 | 142,9 | indices |

7.3.2. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE

Des échantillons parcellaires de sol (0-20 cm) et de sous-sol (20-40 cm) furent prélevés en août 1973 et fin décembre 1978, après blé (analyses laboratoire de Toulouse).

Essai de Laval : K₂O échangeable (°/°) 1973

| K | K ₂ O échangeable (°/°) sol | | | | K ₂ O échangeable (°/°) sous-sol | | | | ppds | 0,01 |
|----------------|--|----------------|-----------------|----------------|---|----------------|-----------------|----------------|-------------------|----------------|
| | P | K0 | K120 | K190 | Effet P | K0 | K120 | K190 | | |
| P0 | 0,033 | 0,066 | 0,140 | 0,079 | 0,026 | 0,083 | 0,116 | 0,075 | Effets P, K | sol 0,015 |
| P75 ... | 0,033 | 0,060 | 0,103 | 0,065* | 0,030 | 0,056 | 0,106 | 0,064 | Interaction P × K | sol 0,027 |
| P150 .. | 0,040 | 0,063 | 0,085 | 0,063** | 0,036 | 0,043 | 0,073 | 0,051** | Effets P, K | sous-sol 0,018 |
| Effet K | 0,035 | 0,063** | 0,110*** | 0,069 | 0,031 | 0,061** | 0,098*** | 0,063 | Interaction P × K | sous-sol 0,032 |

Le coefficient de variation était de 16,3%. L'effet P₂O₅ en liaison avec l'effet très positif sur les rendements était négatif. L'effet K₂O était très positif, avec léger enrichissement au niveau K150. L'interaction P × K était elle-même hautement significative, en liaison avec les effets P et K sur

les rendements. En sous-sol (CV = 21,4%), les mêmes effets apparaissaient.

En 1978, les coefficients de variation furent très élevés. On enregistrait alors un très léger enrichissement avec K115 et un enrichissement beaucoup plus significatif avec K178.

Essai de Laval : K₂O échangeable (°/°) 1978

| | K0 | K115 | K178 | ppds | 0,05 | 0,01 | CV % |
|----------------|-------|---------|----------|---------------|-------|-------|------|
| Sol | 0,033 | 0,089* | 0,160*** | Effet K | 0,041 | 0,057 | 43,6 |
| Sous-sol | 0,024 | 0,052** | 0,097*** | Effet K | 0,017 | 0,024 | 29,5 |

Cette évolution, relativement favorable de 1973 à 1978, provient de la faiblesse des rendements obtenus sur les trois maïs ensilages.

Le bilan cumulé sur trois ans pour ces trois cultures pour K0, K2, K3 fut, en effet, de - 104, + 89 et + 209 kg/ha K₂O.

7.4. ESSAI de NOTRE DAME DE CLARTÉ (Morbihan) 1966-1973

7.4.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET EFFET (NPK)

Cet essai, poursuivi pendant huit ans également, était constitué de deux essais jumelés, comportant chacun quatre répétitions de trois doses d'engrais D1, D3, D4 voisines de N25 P35 K45 en D1, N75 P105 K130 en D3 et N100 P140

K180 en D4.

En huit ans, la succession des cultures a comporté sur chaque essai 5 cultures fourragères, 4 céréales et 1 pomme de terre selon le tableau ci-dessous.

Essai de Notre Dame de Clarté : succession des cultures

| | 1966 | 1967 | 1968 | 1969 | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 |
|---------|------|-------------------------------------|------------------------|------|------|-------------------------------------|------------------------|------|
| Essai 1 | Orge | Ray-grass-trèfle + choux fourragers | Betteraves fourragères | Blé | Orge | Ray-grass trèfle + maïs fourrage | Pommes de terre | Blé |
| Essai 2 | Orge | Ray-grass-trèfle + maïs fourrage | Pommes de terre | Blé | Orge | Ray-grass trèfle + choux fourragers | Betteraves fourragères | Blé |

Les cultures des deux essais ayant été identiques et les résultats très voisins, on considérera la moyenne des deux essais. Les effets des doses (NPK) furent très importants. Exprimés en indices sur l'ensemble des 20 cultures, ils furent respectivement de : 100 - 129,2 - 138,2 pour D1, D3, D4. La

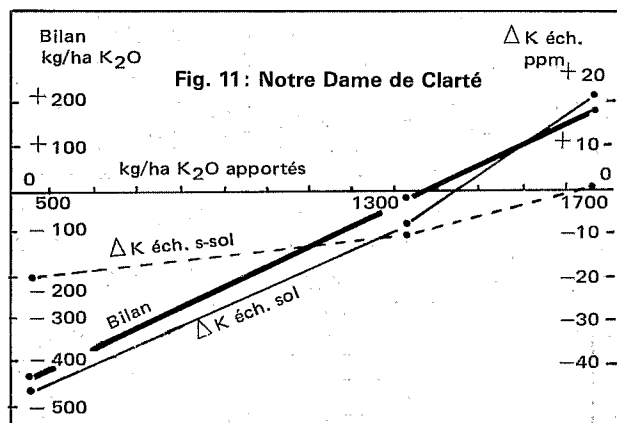
dose D4 fut en général la plus rentable, mais le dispositif (NPK) ne permettait pas d'affirmer que les doses K₂O étaient nécessaires. L'examen de la fertilité potassique permit d'aborder ce problème indirectement.

7.4.2. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE

Des prélèvements sont intervenus fin 1971 et en fin d'essai et le tableau ci-contre indique les moyennes des deux essais.

Le sol s'était nettement appauvri en D1, était resté à peu près en équilibre avec D3 et s'était finalement peu enrichi avec D4. Ces résultats sont typiques des rotations à base de cultures fourragères grosses exportatrices de K₂O. Les prélèvements ont en effet pu être calculés à partir des analyses à la récolte, effectuées chaque année. Il y a lieu de noter que les pailles ont été exportées, ainsi que les feuilles de betteraves. Le tableau ci-après indique les exportations de K₂O par nature de culture et les bilans sur huit ans, pour la moyenne des deux essais.

Les bilans K₂O étaient très négatifs en D1 (45 kg/ha/an en moyenne), pratiquement équilibrés en D3 (131 kg K₂O) et un peu positifs en D4 (176 kg K₂O).



Essai Notre Dame de Clarté : K₂O éch. (°/°°)

| K ₂ O (kg/ha) | Décembre 71 Sol | Fin essai | |
|--------------------------|-----------------|-----------|----------|
| | | Sol | Sous-sol |
| 45 | 0,048 | 0,045 | 0,040 |
| 131 | 0,074** | 0,081** | 0,050 |
| 176 | 0,107*** | 0,111*** | 0,060* |

Exportations par culture et bilan final : K₂O (kg/ha)

| Cultures | D1 | D3 | D4 |
|----------------------------|------|------|------|
| Orges (4) | 33 | 43 | 51 |
| Blés (4) | 59 | 87 | 92 |
| Ray-grass-trèfle (4) | 138 | 174 | 202 |
| Choux (2) | 142 | 232 | 294 |
| Betteraves (2) | 122 | 205 | 270 |
| Maïs fourr. (2) | 76 | 97 | 126 |
| Pommes de terre (2) | 102 | 185 | 202 |
| Exportations totales | 897 | 1326 | 1582 |
| Apports totaux | 451 | 1309 | 1761 |
| Bilan 8 ans | -446 | -17 | +179 |

La figure 11 met en parallèle, en fonction des apports potassiques, le bilan global K₂O sur les 10 cultures et la variation de K₂O échangeable pour la moyenne des deux essais. Le point d'équilibre de K₂O échangeable correspond assez sensiblement au point de bilan nul. C'est donc une dose de K160 environ qui aurait été la mieux ajustée dans le cas de cette rotation présentant six cultures grosses exportatrices de potasse.

7.5. ESSAI de CREVIN (Ille et Vilaine) 1966-1975

7.5.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET EFFET (NPK)

Le dispositif de cet essai était identique à celui de Notre Dame de Clarté. Les deux soles se sont ici nettement différenciées en ce qui concerne l'enrichissement en potasse en liaison avec les cultures pratiquées et les rendements obtenus (tableau ci-dessous).

Sur l'essai 1, deux cultures ont été très faibles : en 1968, une pomme de terre, très parasitée, a présenté de très faibles rendements, non contrôlés ; en 1974, un maïs ensilage a beaucoup souffert de la sécheresse et le rendement moyen en fut très minime, de l'ordre de 20 t/ha en vert.

Essai de Crevin : cultures, doses de K₂O et effet (NPK)

| | Cultures | K ₂ O (kg/ha) | | | Effet doses (NPK) | | |
|---------|---------------------------|--------------------------|------------|------------|-------------------|--------------|----------------------|
| | | D1 | D3 | D4 | D1 | D3 | D4 |
| Essai 1 | Blé 1966, 69, 71 75 | 42 | 121 | 169 | 33,1 | 45,1 | 48,2 q/ha |
| | Orge, 1967, 72 | 64 | 192 | 256 | 38,1 | 46,5 | 46,0 q/ha |
| | Maïs 1970, 73 | 50 | 150 | 200 | 68,9 | 84,9 | 85,8 q/ha |
| | Moyennes/an | 55 | 162 | 219 | 100,0 | 129,0 | 133,7 indices |
| Essai 2 | Blé 1966, 69, 72 | 49 | 138 | 194 | 38,9 | 48,8 | 51,6 q/ha |
| | Orge 1970, 73, 75 | 39 | 117 | 156 | 34,4 | 36,1 | 36,5 q/ha |
| | Avoine 1967 | 58 | 174 | 232 | 24,6 | 29,6 | 29,1 q/ha |
| | Betteraves 1968, 71 | 70 | 209 | 278 | 59,6 | 72,9 | 75,8 t/ha (racines) |
| | Choux 1974 | 50 | 150 | 200 | 49,8 | 65,9 | 70,0 t/ha |
| | Moyennes/an | 51 | 151 | 204 | 100,0 | 118,8 | 122,9 indices |

Les doses de K_2O apportées en D4 en début d'essai (1967 et 1968) visaient à obtenir sur les deux soles un certain enrichissement du sol.

7.5.2. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE

Des prélèvements sont intervenus début décembre 1972, après 7 ans d'essais et en fin d'essai (tableau ci-après, laboratoire de Toulouse).

Essai de Crevin : K_2O échangeable (‰)

| Sol 0-20 cm | Essai 1 | | Essai 2 | |
|----------------|---------|-----------|---------|-----------|
| | Déc. 72 | fin essai | Déc. 72 | fin essai |
| D1 | 0,10 | 0,10 | 0,055 | 0,06 |
| D3 | 0,19 | 0,21 | 0,080 | 0,13 |
| D4 | 0,23 | 0,26 | 0,092 | 0,16 |

Les effets des doses de K_2O ont été nettement positifs sur les teneurs en K_2O des deux essais, mais beaucoup plus nets sur l'essai 1, bien que les apports n'y aient pas été sensiblement supérieurs à ceux de l'essai 2.

La figure 12 représente l'évolution de l'enrichissement sur les deux essais.

Sur l'essai 1, le sol s'est légèrement appauvri avec K55 et nettement enrichi avec K162 et K219. Sur 10 cultures, 2 ont été très affectées par les conditions adverses du milieu et il n'y a pas eu de culture très grosse exportatrice de K_2O .

Sur l'essai 2, fin 1972, il y avait appauvrissement, même en D4. En fin d'essai, K51 reste appauvri, K151 reproduit le niveau d'origine et K204 réalise un léger enrichissement. Sur les 10 cultures, il y a eu 3 cultures à très fortes exportations : betteraves 1968 (286, 405, 444 kg K_2O); betteraves 1971 (165, 310, 355 kg K_2O), choux 1974 (194, 297, 343 kg K_2O). Les bilans D1, D3, D4, sur ces 3 cultures furent très négatifs : -356, -445, -386 kg/ha K_2O .

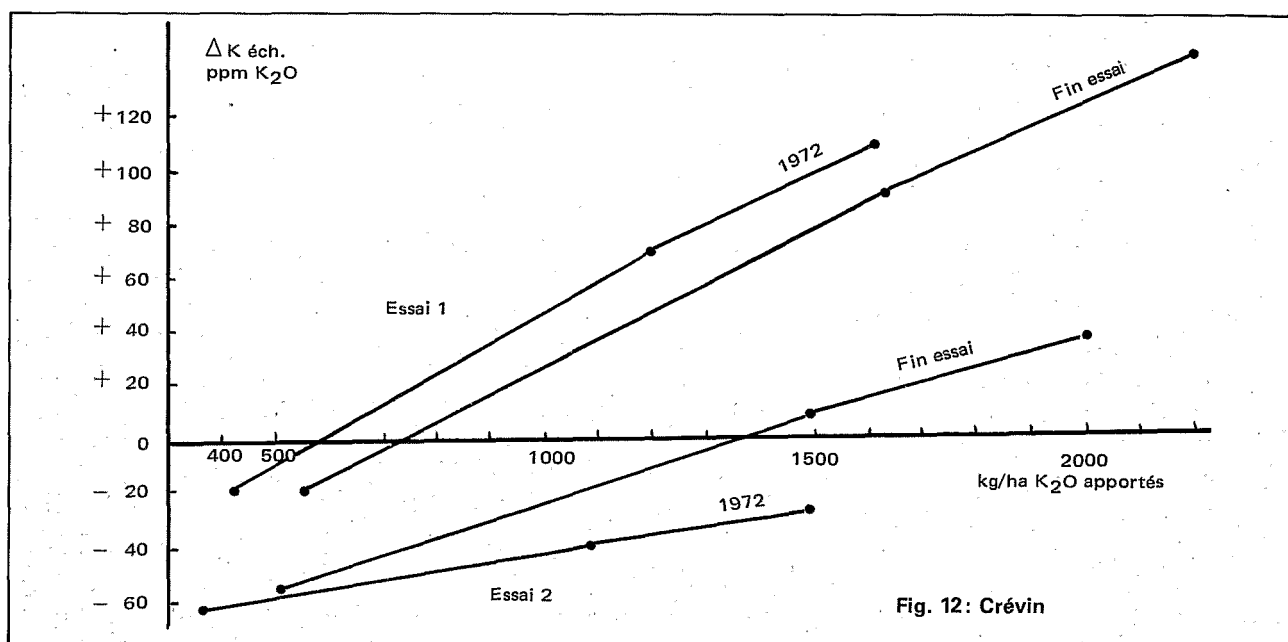


Fig. 12: Crévin

8. - ROTATIONS COMPORTANT UNE LUZERNE DE 3/4 ANS

La présence de la luzerne dans la rotation rend difficile le problème de l'enrichissement des sols en potasse. En effet, pour des rendements de 12 et 15 t/ha, les prélèvements prévisibles sont de l'ordre de 320 et 400 kg/ha K_2O , sur la base d'une teneur de 2,2% K (20).

Les sols risquent d'être très appauvris en K_2O après luzerne avec les conséquences pour la culture suivante. Une autre conception consiste à dire que la luzerne exige des sols plus riches en K_2O , conception préconisée par la Station Agronomique de Châlons sur Marne qui envisage des apports assez élevés de K_2O sur les deux années avant luzerne (1).

On examinera ici ce qui a été observé sur divers essais où la luzerne est intervenue.

| Essais | Argile (%) | | Mat. org. (%) | | CEC (meq %) | | K_2O éch. (‰) | |
|-----------------------------|------------|----------|---------------|----------|-------------|----------|-----------------|----------|
| | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol |
| Le Rafidin | 17,2 | 28,8 | — | — | 29,6 | — | 0,08 | 0,03 |
| Saint Jean sur Moivre | 25,0 | 24,5 | 3,6 | 1,7 | 14,8 | 10,0 | 0,15 | 0,07 |
| Lévignac de Guyenne | 31,9 | 34,9 | 2,4 | 1,2 | 22,0 | 23,5 | 0,16 | 0,12 |

Le sol du Rafidin (Marne) était une terre de défriche de Champagne. L'essai fut d'ailleurs mis en place immédiatement après la défriche de pins. Il s'agissait d'une terre crayeuse typique.

Le sol de Saint Jean sur Moivre (Marne) correspondait également à la Champagne crayeuse, avec une teneur en K₂O très moyenne pour le sol et faible en sous-sol.

Le sol de Lévigac de Guyenne (Lot et Garonne) correspondait à un terrefort argilo-calcaire, à bonne teneur en matière organique, moyennement pourvu en potasse.

8.1. ESSAI du RAFIDIN (Marne) 1957-1969

8.1.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET EFFET POTASSE

Le dispositif expérimental comportait trois essais sur trois cultures différentes et chaque essai comprenait trois blocs

de six traitements P × K. Hors essai, se trouvaient trois parcelles témoins (P0 K0, P0 K2, P2 K0) sur chaque culture.

| | 1958 | 1959 | 1960 | 1961 | 1962 | 1963 | 1964 | 1965 | 1966 | 1967 |
|--------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Sole 1 | Colza | Blé | Orge | Luzerne | Luzerne | Luzerne | Blé | Orge | Pois | — |
| Sole 2 | Blé | Orge | Better. | Blé | Orge | Avoine | Better. | Blé | Orge | — |
| Sole 3 | Orge | Better. | Blé | Orge | Better. | Blé | Orge | Luzerne | Luzerne | Luzerne |

On ne considérera ici que l'effet potasse en présence de la dose la plus élevée de P₂O₅, car ce n'est qu'à ce niveau P2 que l'on dispose de trois doses de potasse K0, K1, K2.

Les rendements sont demeurés médiocres au cours des 9 années après la défriche. L'expression des résultats

moyens en indices, par rapport à K0 = indice 100, est très déformante dans le cas présent, du fait des très faibles rendements K0 sur betteraves sucrières et luzerne, en particulier. Néanmoins, de K1 à K2, l'effet potasse fut encore de l'ordre de + 10 %.

Effet potasse sur l'essai du Rafidin

| Soles | Cultures | K ₂ O (kg/ha) | | | Effet potasse | | | |
|--------|---|--------------------------|------------|------------|---------------|------------|------------|--------------------|
| | | K0 | K1 | K2 | K0 | K1 | K2 | |
| Sole 1 | Céréales (4) 1959, 60, 64, 65 | 0 | 71 | 142 | 30,1 | 35,8 | 37,5 | q/ha |
| | Colza (1) 1958 | 0 | 150 | 300 | 10,0 | 18,9 | 18,0 | q/ha (grains) |
| | Pois (1) 1966 | 0 | 70 | 140 | 4,4 | 18,2 | 20,0 | q/ha (vert) |
| | Luzerne (3) 1961, 62, 63 | 0 | 93 | 186 | 1,00 | 7,93 | 8,78 | t/ha (à 14% d'eau) |
| | Moyenne/an | 0 | 87 | 174 | 100 | 385 | 420 | indices |
| Sole 2 | Céréales (7) 1958, 59, 61, 62, 63 65, 66 | 0 | 69 | 138 | 26,1 | 35,1 | 42,2 | q/ha |
| | Betteraves (2) 1960, 64 | 0 | 162 | 325 | 8,5 | 38,5 | 43,6 | t/ha |
| | Moyenne/an | 0 | 89 | 178 | 100 | 201 | 228 | indices |
| Sole 3 | Céréales (5) 1958, 60, 61, 63, 64 . | 0 | 75 | 150 | 22,7 | 34,2 | 35,2 | q/ha |
| | Betteraves (2) 1959, 62 | 0 | 137 | 275 | 11,8 | 26,7 | 27,4 | t/ha |
| | Luzerne (3) 1965, 66, 67 | 0 | 190 | 380 | 2,72 | 8,32 | 9,66 | t/ha (à 14% d'eau) |
| | Moyenne/an | 0 | 110 | 220 | 100 | 238 | 267 | indices |

8.1.2. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE

On considérera les déterminations intervenues fin 1963 après 6 ans et fin 1966-67 après 9-10 ans.

Essai du Rafidin : K₂O échangeable (°/°°)

| | | | K0 | K1 | K2 | | | | |
|--------|----------|-----------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|
| | | | K0 | K1 | K2 | K0 | K1 | K2 | |
| Sole 1 | Sol | Nov. 1963 | 0,050 | 0,080 | 0,147 | Sept. 1966 | 0,060 | 0,105 | 0,106 |
| | Sous-sol | | 0,030 | 0,053 | 0,071 | | 0,030 | 0,060 | 0,073 |
| Sole 2 | Sol | Nov. 1963 | 0,070 | 0,143 | 0,203 | Sept. 1966 | 0,060 | 0,146 | 0,256 |
| | Sous-sol | | 0,030 | 0,076 | 0,103 | | 0,030 | 0,063 | 0,143 |
| Sole 3 | Sol | Nov. 1963 | 0,070 | 0,186 | 0,266 | Oct. 1967 | 0,080 | 0,063 | 0,076 |
| | Sous-sol | | 0,060 | 0,110 | 0,090 | | 0,030 | 0,030 | 0,036 |

Il apparaît que la teneur en potassium des K0 a peu évolué en baisse depuis l'origine de l'essai (qui correspondait à l'état naturel après défriche).

Les teneurs en potassium des K1 et K2 sont, au contraire, très différenciées en fonction des niveaux d'apports ainsi que des soles.

En 1963, la sole 1, la seule à avoir porté trois ans de luzerne, présentait des teneurs sensiblement inférieures à celles des soles 2 et 3, et ceci surtout avec K1.

En 1966-67, les mêmes faits s'observent, plus nettement encore en sole 3, après luzerne.

L'influence de la luzerne fut donc déterminante en ce qui concerne l'évolution de K_2O échangeable de ces sols.

8.2. ESSAI de SAINT JEAN SUR MOIVRE (Marne) 1968-1978

8.2.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Cet essai étudie le thème de la dose et de la répartition de la fumure potassique sur la rotation, en présence d'une fumure NP uniforme. La dose de potasse est étudiée à trois niveaux dont le niveau 0 et la répartition au cours de la rota-

tion selon trois modes R1, R2, R3 conformes au tableau ci-dessous, limité à la fin de la rotation ayant comporté la luzerne (1974), car ensuite la rotation adoptée sur l'essai fut: betterave - blé.

Essai de Saint Jean sur Moivre : résultats sur luzerne

| Traitements | 1968 Betterave | 1969 Blé | Total 1 ^{re} rotation | 1970,1,2 Luzerne (par an) | 1973 Blé | 1974 Orge | Total 2 ^e rotation | Rendt moyen luzerne t/ha/an | Bilan K_2O (kg/ha) sur 3 ans ¹ | K_2O éch. (‰) octobre 1972 |
|-------------|-------------------|-------------|--------------------------------------|---------------------------------|-------------|--------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|
| K0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6,58 | -440 | 0,055 |
| K1 R1 | 300 | 0 | 300 | 200 | 0 | 0 | 600 | 7,86 | -71 | 0,100 |
| K1 R2 | 180 | 120 | 300 | 150 | 90 | 60 | 600 | 7,94 | -209 | 0,095 |
| K1 R3 | 150 | 150 | 300 | 120 | 120 | 120 | 600 | 7,79 | -282 | 0,070 |
| K2 R1 | 400 | 0 | 400 | 266 | 0 | 0 | 800 | 8,02 | +68 | 0,140 |
| K2 R2 | 240 | 160 | 400 | 200 | 120 | 80 | 800 | 8,08 | -83 | 0,137 |
| K2 R3 | 200 | 200 | 400 | 160 | 160 | 160 | 800 | 8,03 | -197 | 0,125 |

1) de luzerne

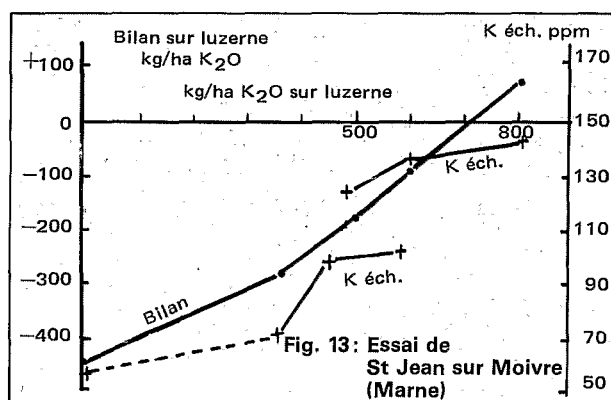
8.2.2. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE

Le tableau précédent rapporte aussi le bilan K_2O total sur les 3 ans de luzerne et les teneurs en K_2O échangeable enregistrées par des prélèvements parcellaires du 16 octobre 1972, après luzerne (analyses laboratoire de Toulouse).

Le bilan K_2O sous luzerne a été établi chaque année et on constatait que:

- 1) le bilan potasse très négatif en K0 (-440 kg/ha K_2O sur 3 ans) s'accompagnait d'un épuisement considérable du sol en potassium (passage de 0,150 à 0,055‰),
- 2) pour chaque dose de potasse (K1 et K2), la teneur en K_2O échangeable décroissait nettement de R1 à R3 en fonction de bilans négatifs croissants sur luzerne,
- 3) les différences des bilans (K2 - K1) expliquent en partie les différences de teneurs en K_2O échangeable (K2 - K1).

La figure 13 ci-contre représente la liaison entre les apports potassiques sur la luzerne et le bilan K_2O sur luzerne et l'état K_2O échangeable après luzerne. Pour une même dose de potasse sur luzerne et donc pour des bilans voisins (comparaisons K1R1/K2R2 et K1R2/K2R3), les sols K2 sont nettement plus riches que les sols K1. Cet écart s'explique surtout par le fait qu'avant luzerne les sols K2 étaient



légèrement plus riches (+0,020‰ K_2O environ) que les sols K1 à l'issue des deux premières années d'essai (1^{re} rotation).

L'influence de la luzerne fut donc considérable sur la teneur en potassium de ce sol, l'équilibre du bilan correspondant à peu près à celui du sol.

8.3. ESSAI de LÉVIGNAC DE GUYENNE (Lot et Garonne) 1962-1974

8.3.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET EFFET POTASSE

Cet essai a étudié pendant 12 ans la fumure potassique à 4 niveaux combinés à 2 niveaux d'azote, en présence d'une fumure phosphatée uniforme (dispositif en split-plot, avec 6 blocs des 8 traitements 2N x 4K).

L'effet potasse, sur les 10 cultures effectivement contrôlées, a été positif et significatif 7 années sur 10, mais limité à +2,8 q/ha sur maïs et sur blé et plus net sur luzerne-dactyle (+1,3 t/ha).

Effet potasse sur l'essai de Lévignac de Guyenne

| Cultures | K ₂ O (kg/ha) | | | | Effet potasse | | | |
|--|--------------------------|----|-----|-----|---------------|-------|-------|---------------------------|
| | K0 | K1 | K2 | K3 | K0 | K1 | K2 | K3 |
| Maïs et sorgho (1962, 73 74) | 0 | 66 | 120 | 173 | 66,4 | 67,5 | 68,5 | 69,2 q/ha |
| Blé (1964, 70, 72) | 0 | 80 | 120 | 160 | 55,2 | 56,7 | 57,2 | 58,0 q/ha |
| Luzerne-dactyle (1966, 67, 68, 69) | 0 | 80 | 160 | 240 | 14,85 | 15,41 | 15,85 | 16,15 t/ha (à 14 % d'eau) |
| Moyenne/an | 0 | 76 | 136 | 196 | 100,0 | 102,8 | 104,7 | 106,2 indices |

8.3.2. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE

La détermination du potassium échangeable a été effectuée en fin d'essai (laboratoire de Toulouse).

Essai de Lévignac de Guyenne : K₂O échangeable (°/°°)

| | K0 | K76 | K136 | K196 | ppds | | CV |
|---------------------------|-------|-------|---------|---------|-------|-------|--------|
| | | | | | 0,05 | 0,01 | |
| Sol (0-20 cm) | 0,141 | 0,145 | 0,173** | 0,174** | 0,017 | 0,023 | 13,2 % |
| Sous-sol (20-40 cm) | 0,125 | 0,131 | 0,145** | 0,152** | 0,011 | 0,015 | 10,0 % |

Sur le sol et le sous-sol, l'effet potasse était positif et hautement significatif. En fait, les traitements se répartissaient en deux groupes: K0 et K1 d'une part et K2 et K3 d'autre part. Malgré les difficultés de liaison avec l'origine, on peut dire que l'évolution a été faible de K0 à K3. Il y a plutôt eu appauvrissement avec K0 et K76 et statu quo avec K136 et K196.

En sous-sol, il y aurait eu statu quo en K0 et K1 et légère migration en sous-sol et faible enrichissement en K2 et K3.

Donc, malgré les possibilités de régénération de potassium échangeable de ce sol, ce n'est qu'à partir de la dose K2 (136 kg/ha K₂O/an en moyenne) que la richesse du sol semble avoir été conservée dans le cas de l'essai comportant quatre ans de luzerne-dactyle à très forts prélèvements de K₂O.

Le prélèvement moyen par an de la luzerne-dactyle fut en effet de 298, 333, 370, 388 kg/ha K₂O. Le déficit du bilan K₂O fut donc considérable en 4 ans (-1192 kg/ha en K0, -1012 kg/ha en K80, -840 kg/ha en K160 et -592 kg/ha en K240).

En conclusion, la présence d'une luzerne de 2 ou 3 ans dans une rotation est une cause d'épuisement important des disponibilités en potassium des sols. Rappelons que sur la moyenne de 41 résultats d'essais potasse sur luzerne pure sur des sols présentant les caractéristiques moyennes suivantes (argile 20 %, pH 7,8, K₂O échangeable 0,18°/°°), le rendement maximum théorique moyen a correspondu à 228 kg/ha K₂O/an et l'optimum rentable à 197 kg/ha K₂O avec pour ce dernier un prélèvement moyen de 247 kg/ha K₂O/an entraînant donc un déficit moyen annuel de 50 kg/ha K₂O (20). Si ces quantités ne sont pas apportées, soit environ 750 à 800 kg/ha K₂O pour les 3 ans, l'épuisement du sol en potassium risque d'être important (de l'ordre de 100 ppm K₂O). Des résultats du même ordre ont été rapportés par BALLIF et DUTIL (pour une teneur initiale d'un sol enrichi à 270 ppm K₂O, les teneurs correspondant à K0, K250, K500, K1000 après 3 ans étaient respectivement de 80, 100, 150 et 320 ppm, l'appauvrissement étant encore de 120 ppm avec K500 (1). Seuls des sols à pouvoir libérateur important ou très récemment enrichis peuvent permettre ces prélèvements potassiques.

9. - PRAIRIES TEMPORAIRES ET PRAIRIES PERMANENTES

L'étude de l'évolution du potassium échangeable dans les essais de fertilisation des herbages et prairies est délicate. S'il s'agit d'essais conduits en fauche, en l'absence du problème des restitutions par les animaux, les conditions sont à peu près les mêmes que dans les essais « grandes cultures ». Si les essais sont conduits en simulation de pâture, l'approche est meilleure au niveau de l'exploitation de l'herbe, mais le problème des restitutions subsiste. Il faut donc bien distinguer le cas des prairies réellement pâturées pour mesurer l'évolution effective du potassium au pâturage.

9.1. ESSAIS SUR PRAIRIES TEMPORAIRES EN SIMULATION DE PÂTURE

On retiendra l'exemple des essais poursuivis sur la Station Agronomique d'Aspach le Bas (Haut Rhin) depuis 1968 sur prairies temporaires exploitées en simulation de pâture (on entend par là que les coupes sont effectuées à un rythme de

pâture rationnée, soit la première lorsque le futur épi est à environ 10 cm au-dessus du plateau de tallage et les suivantes lorsque la production est de l'ordre de 2 t/ha de matière sèche).

9.1.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET EFFET POTASSE

Ces trois essais qui ont porté sur graminées pures (essai dactyle débuté en 1968, essai fétuque élevée débuté en 1968, essai ray-grass anglais débuté en 1970) présentaient le même dispositif expérimental : essai factoriel $4N \times 2P \times 4K$ en confounding à 32 parcelles.

Les doses annuelles globales d'azote ont été de l'ordre de 110, 220, 330, 440 kg/ha N en N1, N2, N3, N4.

Les doses K_2O annuelles ont été de 0, 150, 300, 450 kg/ha K_2O sur les trois essais. Avant la création de la

prairie, des apports uniformes élevés de fumier ont été faits dans chaque cas (45 t/ha ayant apporté 440 kg/ha K_2O sur l'essai dactyle).

Les conditions de sols correspondent à des lehms profonds à forte proportion d'éléments fins, pauvres en potasse échangeable, mais dont les réserves potassiques dissimulées semblent assez facilement mobilisables par les graminées.

| Essais | Argile (%) | | Mat. org. (%) | | CEC (meq %) | | K_2O éch. (‰) | |
|-----------------|------------|----------|---------------|----------|-------------|----------|-----------------|----------|
| | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol |
| Dactyle | 13,3 | 13,9 | 1,9 | 0,9 | 12,0 | 9,5 | 0,080 | 0,060 |
| Fétuque | 19,0 | 25,4 | 2,2 | 1,2 | 13,5 | 15,2 | 0,070 | 0,060 |
| Ray-grass angl. | 19,7 | 26,8 | 2,2 | 1,0 | 13,9 | 15,5 | 0,070 | 0,060 |

Les résultats techniques de ces essais, en matière d'interaction $N \times K$, ont été importants et publiés par ailleurs (6-12). On ne retiendra ici que ceux relatifs aux cinq traitements retenus pour les études de sols réalisées en cours d'essais, soit les 4 combinaisons extrêmes de la table d'interaction $4N \times 4K$ et le traitement intermédiaire N3 K2 (ces 5

traitements en présence d'un niveau uniforme de P_2O_5 qui fut en général $P1 = 75$ kg/ha P_2O_5 /an).

L'effet potasse, inexistant avec N1, fut très important avec N4 et l'interaction $N \times K$ fut très positive (+3,34 t/ha sur dactyle et +2,42 t/ha sur ray-grass).

Effet potasse sur graminées à Aspach

| Matière sèche (t/ha) | N1 K0 | N1 K450 | N3 K300 | N4 K0 | N4 K450 |
|---|-------|---------|---------|-------|---------|
| Dactyle, 8 ans (1968-75) | 8,96 | 8,79 | 12,78 | 10,03 | 13,20 |
| Ray-grass anglais, 5 ans (1971-75) | 6,82 | 6,51 | 11,91 | 11,02 | 13,13 |

9.1.2. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE

Le tableau suivant rapporte l'évolution de K_2O échangeable pour les 5 traitements considérés pour les sols (0-10 cm) et les sous-sols (10-20 cm).

Essais graminées d'Aspach : K_2O échangeable (‰)

| | N1 K0 | | N1 K450 | | N3 K300 | | N4 K0 | | N4 K450 | |
|--------------------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|
| Dactyle | | | | | | | | | | |
| 17-1-1969 | 0,150 | (0,068) | 0,125 | (0,070) | 0,127 | (0,082) | 0,095 | (0,072) | 0,090 | (0,056) |
| 14-2-1972 | 0,068 | (0,049) | 0,148 | (0,067) | 0,085 | (0,058) | 0,059 | (0,053) | 0,070 | (0,043) |
| 22-1-1974 | 0,062 | (0,043) | 0,172 | (0,066) | 0,061 | (0,047) | 0,049 | (0,041) | 0,062 | (0,041) |
| 21-1-1976 | 0,090 | (0,073) | 0,173 | (0,104) | 0,082 | (0,086) | 0,049 | (0,049) | 0,100 | (0,052) |
| Ray-grass anglais | | | | | | | | | | |
| début 1975 | 0,124 | (0,094) | 0,260 | (0,133) | 0,096 | (0,088) | 0,070 | (0,066) | 0,102 | (0,083) |
| début 1976 | 0,120 | (0,120) | 0,248 | (0,128) | 0,128 | (0,092) | 0,102 | (0,120) | 0,126 | (0,121) |
| Fétuque | | | | | | | | | | |
| début 1975 | 0,097 | (0,114) | 0,277 | (0,169) | 0,108 | (0,107) | 0,073 | (0,070) | 0,106 | (0,089) |
| début 1976 | 0,104 | (0,142) | 0,258 | (0,166) | 0,113 | (0,126) | 0,086 | (0,099) | 0,101 | (0,116) |

Sur l'essai dactyle, les bilans K_2O sur 8 ans (1968-1975) ont été respectivement de -1702, + 930, -1196, -1844 et -319 kg/ha K_2O , dans l'ordre des 5 traitements. Les sols N4 K0 se retrouvent nettement plus pauvres que les N1 K0, bien que les bilans très négatifs soient très voisins. Les résultats K0 indiquent les possibilités de fourniture de ce sol, de l'ordre de 180 kg/ha K_2O /an en moyenne de 1968 à 1975 (mais qui ont décliné avec le temps).

Les premières années, la prairie temporaire a bénéficié du potassium du fumier. Les sols N3 K300 semblent à peu près équilibrés en K_2O échangeable, malgré un bilan très négatif. La participation des réserves du sol ne semble avoir été ici que de l'ordre de 100 kg/ha K_2O /an.

Les sols N1 K450 présentent un enrichissement progressif marqué, alors que les sols N4 K450 sont à peu près en équilibre et correspondent à une cession minime de la part du sol.

Les essais sur fétuque et sur ray-grass anglais ont donné des résultats dans le même sens.

La figure 14 montre en particulier l'enrichissement en K_2O de K0 à K450, en présence de N1 ou N4 pour les trois espèces (situation début 1976). Sur les prairies temporaires intensives, recevant de fortes doses d'azote, il est malaisé d'enrichir le sol en potasse. Selon CHEVALIER, la stricte restitution des exportations annuelles n'est pas un objectif indispensable, tout au moins dans des sols à réserves importantes et à pouvoir fixateur élevé (6).

Notons ici que CHEVALIER et QUEMENER ont étudié sur l'essai dactyle les relations entre les bilans annuels du potassium et les teneurs en potassium du sol, appréciées par le potassium échangeable ici considéré et par une extraction un peu plus agressive au tétraphénylborate de sodium 0,1 N pendant 7 jours, sujet qui sera abordé plus loin d'une manière plus générale (8).

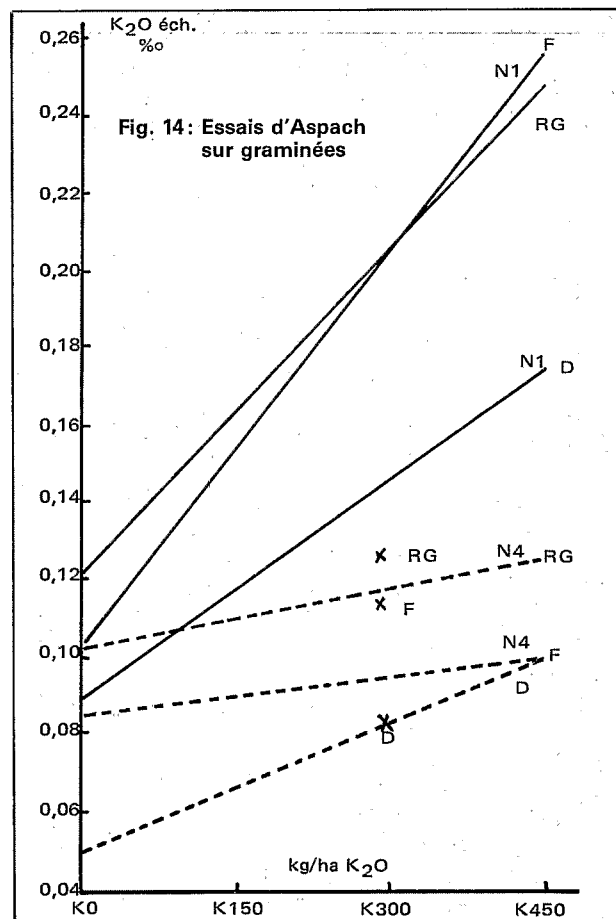
Les résultats obtenus sur ces essais sont extrapolables aux prairies temporaires intensives. Ils constituent une sorte d'aggravation de ce qui a été indiqué précédemment à propos des rotations maïs-herbe et des rotations à base de cultures fourragères où des mélanges ray-grass-trèfle de deux ans s'intercalaient comme à Pont Saint Martin. La simulation de pâture ne déplace pas le problème, car elle ne fait pas intervenir les restitutions partielles de potassium par les déjections.

9.2. ESSAIS SUR PRAIRIES PERMANENTES EN PARTIE PÂTURÉES

9.2.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET EFFET POTASSE

On considérera deux exemples d'essais réalisés en Normandie, avec le même dispositif qu'à Aspach (essais factoriels 4N x 2P x 4K en confounding à 32 parcelles).

- Essai des Loges sur Brécey (Manche), poursuivi de 1968 à 1973, en sol de limon, faiblement pourvu en potasse.
- Essai de Saint Martin d'Osmonville (Seine Maritime), poursuivi de 1969 à 1975, en sol de limon fin, également faible en potasse.



| | Argile (%) | | Mat. org. (%) | | CEC (meq %) | | K ₂ O éch. (‰) | |
|--------------|------------|----------|---------------|----------|-------------|----------|---------------------------|----------|
| | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol |
| Les Loges | 13,4 | 14,0 | 5,0 | 3,3 | 14,3 | 12,8 | 0,08 | 0,07 |
| Saint Martin | 14,5 | 14,4 | 5,9 | 3,8 | 16,1 | 12,9 | 0,15 | 0,06 |

Les deux essais ont été contrôlés par fauche au stade pâture. Avant fauche, ensilage ou passage des animaux, on prélevait dans chaque parcelle deux surfaces de 6 à 8 m² pour évaluer les rendements. Les refus étaient fauchés et laissés sur place après chaque pâture par les vaches laitières. Dans l'année, la prairie était en général fauchée une fois pour foin ou ensilage (22). On ne considérera ici que l'effet

principal des doses de potasse qui furent de 0, 70, 140, 210 kg/ha K₂O/an sur chaque essai, donc traitement NP confondus, c'est-à-dire pour une fertilisation moyenne de N75 P105 (Les Loges) et N97 P105 (Saint Martin).

La réponse à K₂O s'est développée avec le temps (tableau ci-après).

Effets potasse (K210-K0) sur les essais des Loges et de Saint Martin d'Osmonville

| Matière sèche t/ha | 1968 | 1969 | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 | Moyenne |
|------------------------|-------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|
| Les Loges | +0,32 | +1,20** | +1,43** | +1,92** | +2,09** | +2,86*** | — | — | +1,62** |
| Saint-Martin | — | +0,64 | +0,23 | +0,86** | +1,35** | +1,46** | +2,53** | +1,57** | +1,24** |

9.2.2. ÉVOLUTIONS DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE

Sur l'essai des Loges, les analyses de sols parcelaires effectuées début novembre 1973 ont présenté pour K₂O échangeable un coefficient de variation très élevé (57 % !). Aux difficultés de raccordement analytique près, on peut dire que l'effet des doses de potasse de K0 à K210 a été faible sur l'enrichissement du sol, du fait de l'accroissement des prélèvements K₂O de K0 à K210. En sous-sol, les teneurs étaient uniformément faibles et légèrement croissantes avec les doses de potasse.

Sur l'essai de Saint Martin d'Osmonville, les analyses ont montré un effet positif des doses de potasse, surtout net

avec K210. La comparaison avec les analyses d'origine, semble indiquer qu'il y a seulement un appauvrissement moindre avec K210, voir tableau en haut de la page ci-contre.

Sur les deux essais, les bilans potasse théoriques (sans tenir compte des restitutions) apparaissent très déficitaires de K0 à K140 et moins défavorables avec K210.

Le niveau potassique du sol a finalement été très peu affecté dans un sens ou l'autre, bien que ces essais aient été pâturés deux à quatre fois par an par des vaches laitières qui apportaient donc des restitutions.

Essais des Loges et de Saint Martin : K₂O échangeable (°/°°) et bilans K₂O

| K ₂ O kg/ha | Les Loges | | | | Saint Martin d'Osmonville | | | |
|------------------------|-----------|--|-------------|--|---------------------------|--|-------------|--|
| | M.S. t/ha | K ₂ O kg/ha prélevés par an | bilan 6 ans | K ₂ O échang. (°/°°) 0-10 cm 10-20 cm | M.S. t/ha | K ₂ O (kg/ha) prélevés par an | bilan 7 ans | K ₂ O échang. (°/°°) 0-10 cm 10-20 cm |
| K0 | 8,25 | 161 | -966 | 0,072 0,047 | 7,73 | 162 | -1134 | 0,074 0,052 |
| K70 | 9,02** | 185 | -690 | 0,074 0,050 | 8,64*** | 218 | -1036 | 0,073 - |
| K140 | 9,61** | 228 | -528 | 0,116 0,057 | 8,93*** | 248 | -756 | 0,095 - |
| K210 | 9,86*** | 240 | -180 | 0,114 0,063 | 8,96*** | 254 | -308 | 0,120** 0,058 |

9.3. ÉTUDE DE L'ÉVOLUTION DU POTASSIUM RESTITUÉ AU PÂTURAGE

Une revue du problème plus général de l'ensemble des restitutions au pâturage a été faite récemment par LANÇON (14). En ce qui concerne le potassium, on retient les points suivants. Un troupeau laitier produisant 10.000 litres de lait par an exporte seulement 18 kg K₂O et un troupeau produisant 1000 kg de viande ne fixe que 5 kg K₂O. Mais le problème est d'établir le bilan réel de la potasse au pâturage (23). Pour les bovins laitiers au pâturage, le potassium ingéré se répartit à raison de 11 % dans les bouses, 81 % dans les urines (soit 92 % au total), 5 % dans le lait et 3 % résiduel. Le premier problème qui se pose est celui du mode de répartition des déjections.

Selon PETERSEN et al, cités par LANÇON, l'influence de la charge sur la répartition du potassium sur la pâture serait la suivante :

| Charge annuelle moyenne (UBG/ha) | Surface moyenne fertilisée en potasse à un niveau supérieur ou égal à 20 kg/ha K ₂ O (en % de la surface totale) |
|----------------------------------|---|
| 0,83 | 13 |
| 2,50 | 34 |
| 7,50 | 71 |

Dans les pâturages libres à ovins, il y a une surfertilisation potassique très localisée et une forte concentration en K échangeable jusqu'à 6 mètres du centre de l'aire de repos (majoration de l'ordre de 0,50°/°° K₂O échangeable).

Se pose ensuite le problème du devenir du potassium dans les zones recevant les déjections. Dans les zones récemment atteintes par les déjections, il y a de très fortes concentrations en K. Dans les zones touchées antérieurement, le potassium disponible va dépendre de l'absorption propre des plantes prairiales et des phénomènes de lessivage ou rétrogradation. Le potassium des bouses est sous forme très soluble et facilement assimilable.

L'évolution du potassium urinaire, de loin le plus abondant, a été étudiée par divers auteurs dont ici même GARAUDEAUX et al (11) et PFITZENMEYER (24).

L'apport de potasse par les urines correspond à des doses considérables de l'ordre de 1 à 2 t/ha K₂O.

PFITZENMEYER a poursuivi un essai pendant quatre ans à Saint Philbert de Grand Lieu (région nantaise) sur une prairie pâturée établie sur un sol à texture grossière (64 à 67 % d'éléments sableux supérieurs à 0,05 mm). Le dispositif comportait des épandages d'urine soit à l'automne, soit au printemps, soit en été, correspondant à des apports allant de 1,9 à 2,6 t/ha K₂O. Chaque traitement avait un témoin de comparaison sans urine. L'auteur mesurait les exportations cumulées de potassium pendant 3 ans après

les apports, et trouvait une récupération de K de 14,6 % au maximum de l'apport initial par l'urine.

La détermination du potassium échangeable en fin d'essai a porté sur des échantillons de 10 cm en 10 cm jusqu'à 40 cm sous chaque tache d'urine et chaque témoin. Sur la base de calcul de 1000 t/ha de terre pour une couche de 10 cm, il a été retrouvé de 0 à 40 cm seulement environ l'équivalent de 60 kg/ha K₂O, ne représentant qu'environ 3 % de la potasse apportée. L'augmentation de K₂O échangeable avec la profondeur permettait de penser à une infiltration au-delà de 40 cm, donc au-dessous de la zone de concentration radulaire.

La conclusion de cette étude était que dans les conditions de l'essai, la perte en cycle représentait de 75 à 85 %. L'auteur concluait que c'était plutôt « la distribution spatio-temporelle des taches d'urine qui constituait le facteur décisif pour le bilan global du potassium dans la prairie pâturée ».

GARAUDEAUX et al ont expérimenté sur le même thème, sur la Station d'Aspach, dans des conditions de sols différentes, à pouvoir fixateur assez important vis-à-vis de K.

Les doses d'urine appliquées en 1967 correspondaient à 0, 540, 1080, 1620, 2160 kg/ha K₂O pour K0, K1, K2, K3, K4. La récupération apparente du potassium, cumulée sur quatre ans (1967-1971) fut de 48,4 %, 42,9 %, 36,0 %, 33,9 % pour K1, K2, K3, K4 (ray-grass anglais). La détermination de K échangeable des sols sur une profondeur de 65 cm ne permit pas de déceler une différenciation significative à cet égard, malgré les différences considérables des bilans théoriques K₂O, soit -411, -132, +203, +639, +1028 kg/ha K₂O respectivement pour K0, K1, K2, K3, K4.

Le problème est de proposer des coefficients vraisemblables de récupération du potassium au pâturage. Les essais de Saint Philbert et d'Aspach ont représenté deux modèles avec des récupérations de l'ordre de 20 % et 50 % respectivement. Ce thème vient d'être repris sur la Station d'Aspach dans un essai de simulation de restitution de l'urine et les premiers résultats ont été présentés par V. LOMBAERT (17). Après une saison d'exploitation, l'herbe a récupéré 30 à 35 % du potassium de l'urine et après deux ans, 50 %.

COPPENET a envisagé le problème sous l'angle des bilans théoriques selon divers modèles d'exploitations agricoles correspondant plus particulièrement au Finistère. Pour la potasse, il n'a été retenu que le lessivage classique avec une fourchette de 5 à 30 kg/ha K₂O. Ces bilans K₂O théoriques se trouvent ainsi facilement équilibrés, sinon même nettement positifs avec les élevages de porcs (9). Mais on a vu qu'il pouvait exister un écart important entre bilan K₂O théorique et récupération effective par les plantes prairiales. Les enrichissements en K₂O échangeable des sols rapportés par cet auteur semblent concerner surtout des élevages porcins intensifs.

10 - VERGERS ET VIGNES

L'étude de l'évolution du potassium échangeable dans les essais sur vergers et vignes pose des problèmes spécifiques tels que :

- 1) nécessité d'étudier tout le profil K et de ne pas se contenter de l'examen de la couche labourée,
- 2) difficulté de l'échantillonnage par rapport aux modalités d'apports des engrais qui ont pu comporter des localisations de divers types au cours du développement de la plantation.

Seuls quelques exemples seront examinés.

10.1. ESSAIS SUR POMMIER A LA STATION D'ASPACH

10.1.1. ESSAI DE LA STATION D'ASPACH (1949-1971)

10.1.1.1. Dispositif expérimental et effet potasse

Un essai de fertilisation sur pommiers a été réalisé sur la Station Agronomique d'Aspach, sur un verger planté au printemps 1949 et arraché en 1972. Le dispositif expérimental comportait quatre blocs de cinq traitements annuels (N0 P0 K0, N75 P75 K0, N75 P75 K150, N150 P75 K150, N75 P75 K300).

En ce qui concerne la potasse, l'essai étudiait donc trois doses annuelles (K0, K150, K300), apportées en surface au début du printemps de chaque année sur la totalité de la parcelle. La première fertilisation à la création du verger avait apporté K0, K240, K400, dont les 2/5 (K0, K96, K160) dans le trou de plantation.

Les conditions de sols de ce verger correspondaient à un limon acide, à teneur moyenne en argile, à forte teneur en

éléments fins, battant. Comme pour les essais prairies considérés précédemment, on peut dire que si le sol était faiblement pourvu en potasse échangeable au départ (0,09‰), par contre les argiles y enferment des quantités assez importantes de potassium susceptible de se libérer et de devenir disponible pour les plantes. Mais d'autre part, le pouvoir fixateur vis-à-vis du potassium est très marqué (60 à 65 %).

Les rendements totaux de 1954 à 1969, en t/ha de fruits furent pour l'effet potasse en présence de N75 P75 de 227,9 kg en K0, 343,3 kg en K150 et 415,0 kg en K300. L'effet K₂O fut donc important et s'est poursuivi jusqu'à K300 (7).

10.1.1.2. Évolution du potassium échangeable

Des prélèvements de sols et sous-sols, par couches de 10 cm, ont été effectués en 1953, 1957 et 1971 à la fin du verger. Les prélèvements de 1953 et 1957 ont été faits dans les parcelles de blocs différents les deux années ; en 1971

dans toutes les parcelles. Les différences observées entre années sont donc à attribuer aux traitements, mais peuvent aussi résulter d'hétérogénéités.

Essai Verger Aspach : K₂O échangeable ‰

| Profondeur cm | N1 P K0 | | | N1 P K1 | | | N1 P K2 | | |
|------------------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
| | 1953 | 1957 | 1971 | 1953 | 1957 | 1971 | 1953 | 1957 | 1971 |
| 0-10 | 0,11 | 0,06 | 0,13 | 0,19 | 0,13 | 0,17 | 0,37 | 0,29 | 0,21 |
| 10-20 | 0,07 | 0,05 | 0,08 | 0,10 | 0,07 | 0,09 | 0,22 | 0,09 | 0,12 |
| 20-30 | 0,06 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,06 | 0,07 |
| 30-40 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,08 | 0,08 | 0,06 | 0,08 |
| 40-50 | 0,06 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,05 |

Pour les sols 0-10 cm, les fluctuations entre années sont importantes et résultent probablement en partie de problèmes d'échantillonnages.

En considérant les analyses de fin d'essai, il apparaît qu'il n'y a pratiquement pas eu d'appauvrissement en K0 (teneur de 0,09‰ pour la couche 0-20 cm au départ) et que l'enrichissement est très moyen en K1 et même K2. Cet enrichissement concerne surtout la couche 0-10 cm et secondairement la couche 10-20 cm (K2). Transposés en quantités de K₂O échangeable/hectare pour le profil 0-50 cm, ces enri-

chissements correspondraient à environ 100 kg/ha K₂O en K1 et 200 kg/ha K₂O en K2 qui ne représentent que de faibles fractions de bilans K₂O total excédentaires.

A l'arrachage des arbres, il a été constaté que la plus forte densité de racines actives se trouvait dans la zone immédiatement en dessous de la sole de pseudo-labour, soit entre 10-15 cm et 30 cm de profondeur, donc dans une zone nettement moins riche en potassium que la couche superficielle, sauf dans une certaine mesure pour K2.

10.1.2. ESSAI DE LA STATION D'ASPACH (1969-1979)

Un second verger expérimental a été créé en 1969 sur la Station d'Aspach pour assurer la relève du précédent.

10.1.2.1. Dispositif expérimental et effet potasse

En ce qui concerne la fertilisation potassique, le dispositif expérimental, plus élaboré que le précédent, étudie en particulier 4 doses de potasse appliquées annuellement (K0, K100, K200, K300) en présence ou en l'absence d'une fumure de fond (K800) apportée avant le labour de défoncement (0-50 cm) effectué à l'automne précédant la plantation (printemps 1969).

Les conditions de sols sont voisines de celles de l'essai précédent. La capacité d'échange des horizons 0-15, 15-30, 30-50 cm est de 11,6 - 12,2 - 13,2 meq % et la teneur en

potasse échangeable au départ était également basse (0,070‰ pour le sol et 0,060‰ pour le sous-sol). L'effet des traitements sur la production se résume ainsi : très faible production en 1971, 72 et à un moindre degré 1973 et pas de récolte en 1977.

L'effet positif de la fumure de fond (F) de K800 s'est manifesté dès les premières années et l'effet de la potasse annuelle faible au départ, est allé croissant. Les meilleures combinaisons semblent bien résulter de l'association des fumures annuelles supérieures et de la fumure de fond.

Rendements totaux 1971 à 1978 en t/ha fruits

| F \ K | K0 | K100 | K200 | K300 | Effet F |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| F0 (K0) | 99,5 | 139,1 | 133,5 | 167,3 | 134,8 |
| F1 (K800) | 160,3 | 140,9 | 177,6 | 206,0 | 171,2 |
| Effet K | 129,9 | 140,0 | 155,6 | 186,6 | 153,0 |

10.1.2.2. Évolution du potassium échangeable

Un prélèvement de sols est intervenu en février 1977, huit ans après la plantation. Le tableau suivant rapporte les

effets K (potasse annuelle) et F (fumure potassique de fond) de 0 à 50 cm.

K₂O échangeable (‰)

| | | K0 | K100 | K200 | K300 | Effet F |
|-------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0-15 | F0 | 0,080 | 0,095 | 0,120 | 0,260 | 0,139 |
| | F | 0,090 | 0,115 | 0,240 | 0,280 | 0,181 |
| | Effet K | 0,085 | 0,105 | 0,180 | 0,270 | 0,160 |
| 15-30 | F0 | 0,050 | 0,040 | 0,050 | 0,105 | 0,061 |
| | F | 0,055 | 0,060 | 0,085 | 0,110 | 0,078 |
| | Effet K | 0,052 | 0,050 | 0,062 | 0,107 | 0,070 |
| 30-50 | F0 | 0,050 | 0,045 | 0,035 | 0,070 | 0,050 |
| | F | 0,045 | 0,050 | 0,060 | 0,060 | 0,054 |
| | Effet K | 0,047 | 0,047 | 0,047 | 0,065 | 0,052 |

Les effets F et K sont très positifs, mais l'effet K annuel est nettement plus important que l'effet F (environ 4 fois). Ces effets décroissent très vite avec la profondeur. Seules les doses K200 et K300 ont majoré la potasse échangeable en sous-sol. Il est surprenant que l'effet F soit si faible en présence de K0 (alors que l'effet rendement est très marqué).

Il apparaît qu'un enrichissement significatif en potasse échangeable n'a été effectivement obtenu qu'avec K200 + F ou K300 + F0 ou K300 + F. La liaison avec les rendements est donc très bonne, mis à part le cas de FK0.

Ces résultats se rapprochent de ceux obtenus en Suisse sur la Station de Changins par CATZEFLIS et RYSEN (5). L'essai de ces auteurs comportait une application 1180 kg

K₂O sur les 2 ans avant la plantation qui permettait d'amener la fertilité potassique de nettement faible à moyenne. L'essai comporte ensuite sur verger de Golden des doses K75, K150, K300. Avec K75 annuelle, la fertilité potassique a régressé et le rendement a été réduit de 10 % par rapport à K150 (mais il n'y avait pas de différence entre K150 et K300). La fertilité potassique s'est légèrement accrue avec K150 et plus nettement avec K300 (en particulier pour le sous-sol 50-70 cm). C'est en fait la couche 10-35 cm qu'il est le plus nécessaire d'enrichir.

Ces quelques exemples montrent qu'en arboriculture, il est nécessaire d'améliorer et préciser le mode d'échantillonnage des sols. Il faudrait aussi préciser les façons culturales et le mode d'entretien des sols. L'enherbement en particulier est de nature à modifier le profil potassique.

10.2. ESSAI SUR VIGNE

Il y a très peu de résultats concernant l'évolution du potassium échangeable en expérimentation en viticulture.

10.2.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET EFFET POTASSE

L'essai de Targon (Gironde) fut poursuivi de 1954 à 1967, dans l'Entre Deux Mers.

Le dispositif expérimental comportait en particulier la comparaison d'un témoin sans engrais, d'un traitement sans potasse NP avec trois traitements NPK (doses annuelles 30 - 64 - 145 kg/ha N, P₂O₅, K₂O). Ces trois traitements comparaient la forme d'engrais potassique (chlorure ou sulfate en surface), le mode d'application (chlorure surface, chlorure en sous-solage).

Pour NPK.p (fumure profonde), la fumure PK (scories et chlorure) n'était apportée que tous les trois ans, à dose triple (K435), au moyen d'une sous-soleuse localisant

l'engrais au centre des rangs, à environ 35 à 40 cm de profondeur.

En fait, les époques d'apport en sous-solage furent : mars 1955, octobre 1957, mars 1961, janvier 1964.

Les conditions de sol correspondaient à un limon fin (32 % de sable très fin, 19 % de limon), très pauvre en potasse échangeable.

Les rendements des traitements NPK0, NPK chlorure, NPK sulfate, NPK fumure profonde furent respectivement, pour les moyennes sur 10 ans (1958-1967) : 42,2 - 90,8*** - 102,5*** - 99,0*** hl/ha (avec ppds 0,05 = 7,8 hl/ha), traduisant donc un effet potasse particulièrement significatif.

| Profondeur | Argile (%) | Matière org. (%) | CEC (meq %) | K ₂ O éch. (°/°°) |
|------------|------------|------------------|-------------|------------------------------|
| 0-20 cm | 9,9 | 1,6 | 7,0 | 0,06 |
| 20-40 cm | 12,5 | 1,5 | 9,0 | 0,05 |
| 40-60 cm | 19,3 | 1,1 | 10,5 | 0,05 |

10.2.2. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE

L'évolution du K₂O échangeable en fonction des traitements a été suivie par deux séries de prélèvements, en octo-

bre 1962 après 8 ans d'essai et en octobre 1967, en fin d'essai.

Essai de Targon : K₂O échangeable (°/°°)

| Traitements | 1962 | | | 1967 | | |
|-------------------------------|------|-------|-------|------|-------|-------|
| | 0-20 | 20-40 | 40-60 | 0-20 | 20-40 | 40-60 |
| NPK0 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,04 |
| NPK145 chlorure | 0,16 | 0,09 | 0,07 | 0,16 | 0,09 | 0,07 |
| NPK145 sulfate | 0,15 | 0,07 | 0,06 | 0,15 | 0,08 | 0,05 |
| NPK435 (fumure profonde) | 0,26 | 0,42 | 0,32 | 0,10 | 0,27 | 0,34 |

Le traitement K0 semble présenter un certain appauvrissement en 1967 le long du profil. Les traitements K145, chlorure et sulfate, avec apport en surface ne se différencient pas. Ils accusent un net enrichissement en surface (+90 ppm), plus faible en profondeur (+40 ppm), mais traduisant une certaine migration du potassium en sous-sol. Il n'y a pas d'évolution nette de 1962 à 1967. Pour le traitement K435 en fumure profonde, l'enrichissement est net au

niveau du sous-solage, mais ici la migration est importante de 20-40 cm à 40-60 cm. Le sous-solage crée une zone très enrichie sur tout le profil.

L'évolution de la teneur en K₂O dans la zone de passage de la sous-soleuse ne constitue qu'une indication, car on est dans l'impossibilité de la relier à un certain volume de terre. Le problème devrait être abordé en fonction du développement racinaire dans cette zone.

En conclusion, en arboriculture fruitière et viticulture, le problème potassique est d'enrichir principalement la couche de sol où les racines sont les plus actives. Avec les apports en surface, l'enrichissement de 10 à 30 cm sera lent avec les doses annuelles de l'ordre de K100, K150 et beaucoup plus net avec les doses doubles. Dans ce dernier cas, le potassium sera assez vite en quantités appréciables à la portée des racines. Les apports en sous-solage créent des zones localisées beaucoup plus riches qui peuvent être d'une grande efficacité, mais il semble préférable et plus rationnel d'enrichir le profil d'une manière plus homogène par une fumure importante à la création du verger ou de la vigne. Pour mesurer l'enrichissement avec plus de précisions, des échantillonnages adaptés s'imposent avec repérage des points de prélèvements.

11. - ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE DANS LES ESSAIS DE REDRESSEMENT-ÉPUISEMENT

Une question parfois posée à la fin de la vie d'un essai potasse K0, K1, K2, K3 et difficile à étudier est celle-ci : en supposant que les parcelles K0 se trouvent appauvries et les parcelles K2, K3 enrichies par rapport à l'état initial, en combien de temps et dans quelles conditions peut-on enrichir les K0 et appauvrir les K2, K3 ?

La méthode expérimentale consiste à recouper les parcelles K0, K1, K2, K3 par de nouveaux traitements k0, k1, k2 par exemple. En fait, cela n'est possible que si l'on avait prévu initialement des parcelles assez grandes pour pouvoir être scindées. C'est particulièrement difficile à réaliser avec les dispositifs factoriels N x P x K actuels. Le problème avait bien retenu l'attention des agronomes SCPA sur les dispositifs anciens réalisés en grandes parcelles (essais de Levet, Lieusaint en particulier) et plus récemment à Pont Saint Martin.

Le sol de Levet (Cher) correspondait à un limon sableux, d'une épaisseur variant entre 0,8 et 1 m et reposant sur du calcaire lithographique du jurassique.

Le sol de Lieusaint (Seine et Marne) correspondait à un limon des plateaux, assez bien pourvu en matière organique, peu enrichi en potasse (2,4% de la capacité d'échange).

Le sol de Pont Saint Martin (Loire Atlantique) correspondait à un limon sableux très faible en potasse (voir ci-dessus page 19).

| Essais | Argile (%) | | Mat. org. (%) | | CEC (meq %) | | K ₂ O éch. (°/°°) | |
|-------------------|------------|----------|---------------|----------|-------------|----------|------------------------------|----------|
| | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol |
| Levet | 13,5 | 18,5 | 2,1 | 1,2 | 9,5 | 13,5 | 0,18 | 0,09 |
| Lieusaint | 16,4 | — | 2,4 | — | 13,4 | — | 0,15 | — |
| Pont Saint Martin | 8,9 | 11,1 | 2,9 | 2,0 | 8,1 | 7,4 | 0,07 | 0,06 |

11.1 ESSAI de LEVET (Cher) 1959-1963

Initialement, il comportait trois bandes : K0, K1, K2 subdivisées transversalement en 5 soles devant recevoir chacune une culture différente.

Aux trois bandes K0, K1, K2 ont correspondu de 1949 à 1958 des apports potassiques de 0, 115, 185 kg/ha K₂O/an en moyenne. Les rendements moyens des 40 résultats d'essais obtenus sur cette période, en pourcentages des rendements de la bande K0, furent de : 100, 138 et 140 % (10).

L'essai d'épuisement/enrichissement a été poursuivi pendant 5 ans (1959-1963) dans le but de comparer les réponses à la potasse sur les trois bandes précédemment différenciées qui peuvent être assimilées à trois sols du même type, mais de richesse différente en potasse. L'essai n'a porté que sur 2 des 5 soles initiales sur lesquelles les anciennes parcelles K0, K1, K2 ont été subdivisées en 3 blocs de 3 parcelles recevant les nouvelles fumures potassiques annuelles k0, k1, k2.

11.1.1. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE

Essai de Levet : K₂O échangeable (°/°°) 1958

| | Sol | Sous-sol |
|------|-------|----------|
| K0 | 0,095 | 0,075 |
| K115 | 0,170 | 0,085 |
| K185 | 0,300 | 0,115 |

A la fin de la première phase de l'essai (1949 à 1958), le niveau potassique moyen des soles 2 et 3 conservées en essai, montre un net appauvrissement de la bande K0, un statu quo en K115 et un net enrichissement en K185.

L'essai d'appauvrissement/enrichissement a été poursuivi avec les cultures et les doses suivantes :

| | | |
|----------------|--------------------|----------------|
| 1959 | potomme de terre : | k0, k100, k200 |
| 1960 - 61 - 62 | luzerne-dactyle : | k0, k280, k460 |
| 1963 | maïs-grain : | k0, k120, k180 |

La table d'interaction moyenne (k annuelle x K résiduelle) pour les 5 récoltes, exprimées en indices par rapport à k0 K0 (témoin absolu sans potasse), est la suivante :

Essai de Levet : rendements en indices

| k \ K | Fumure potassique antérieure moyenne | | | Effet k |
|---------------|--------------------------------------|-------|-------|---------|
| | K0 | K115 | K185 | |
| k0 | 100,0 | 129,6 | 134,6 | 121,4 |
| k100 | 118,1 | 138,9 | 147,1 | 134,7 |
| k168 | 126,6 | 140,8 | 149,0 | 138,8 |
| Effet K | 114,9 | 136,4 | 143,5 | |

On constate que l'arrière-action des fumures potassiques antérieures (K) fut assez nettement supérieure à l'effet direct de la fumure annuelle (k).

La théorie de « la vieille graisse potassique » a été assez bien vérifiée : on obtient de moins bons résultats avec k168 sur sol appauvri qu'avec k0 sur sol entretenu ou enrichi, et on obtient également moins avec k168 sur sol entretenu (K115) qu'avec k100 sur sol enrichi (K185).

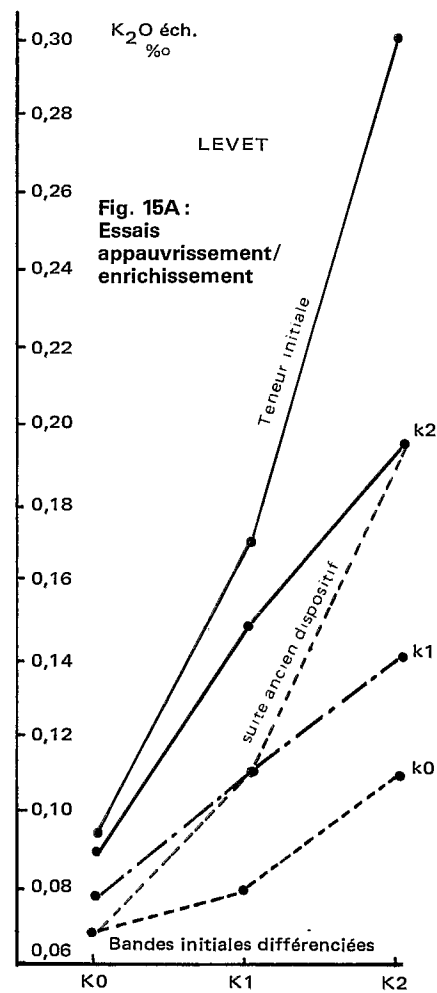


Fig. 15A : Essais appauvrissement/enrichissement

Le tableau suivant rapporte l'état K_2O échangeable en février 1964, en fin d'essai pour le sol (CV = 16%).

Essai de Levét : K_2O échangeable (‰) 1964

| K | Sol 0-20 cm | | | Effet k |
|----------------|--------------|-----------------|-------------------|--------------|
| | K0 | K115 | K185 | |
| k0 | 0,070 | 0,080 | 0,110 | 0,087 |
| k100 | 0,077 | 0,105 | 0,140 | 0,107** |
| k168 | 0,088 | 0,147 | 0,195 | 0,143** |
| Effet K | 0,078 | 0,111*** | 0,148*** | 0,122 |
| ppds 0,05 | Effet K | Effet k | Interaction K x k | |
| ppds 0,01 | 0,042 | 0,012 | lignes 0,032 | colon. 0,022 |
| | 0,096 | 0,017 | 0,048 | 0,029 |

On constate en premier lieu une baisse importante des teneurs en potasse du sol de 1958 à 1964 par suite de la présence de cultures exigeantes en potasse.

Essai de Levét : bilan K_2O sur 3 ans (1960-61-62)

| K_2O (kg/ha) | K0 | K1 | K2 | Effet k |
|----------------|-------------|-------------|-------------|---------|
| k0 | -449 | -607 | -709 | -588 |
| k280 | -240 | -419 | -513 | -391 |
| k460 | -127 | -277 | -389 | -264 |
| Effet K | -272 | -434 | -537 | |

Le tableau ci-dessus rapporte en particulier les bilans K_2O sur les trois ans de luzerne-dactyle. Les variations de K_2O en sous-sol furent de nettement moindre amplitude (teneurs

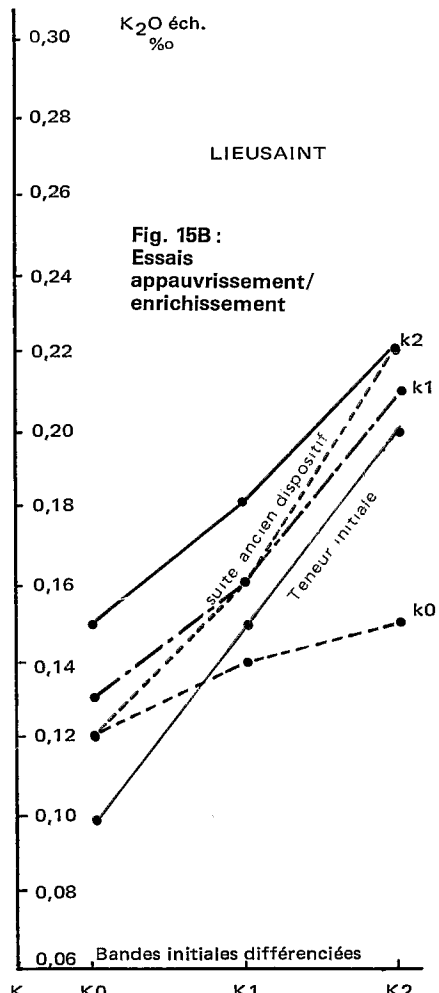


Fig. 15B : Essais appauvrissement/enrichissement

respectives de 0,087 - 0,103 - 0,113‰ pour l'effet K et de 0,098 - 0,102 - 0,102 pour l'effet k). L'influence des traitements potassiques antérieurs continue à se faire sentir (+ 26 ppm K_2O).

L'amplitude des variations par rapport à l'ancien dispositif peut être évaluée en considérant les traitements k0 K0, k100 K115 et k168 K185 qui constituent la prolongation de la première phase de l'essai. Les conclusions sont les suivantes :

- 1) De 1958 à 1964 on enregistre une baisse des teneurs en potasse du sol d'autant plus importante que le sol était plus riche (voir sur figure 15 l'écart entre la courbe teneur initiale 1958 et la courbe « suite ancien dispositif »).
- 2) Les effets K (anciennes bandes K) et k (fumures potassiques annuelles) sont de même ampleur, positifs et hautement significatifs.
- 3) L'interaction k x K est nettement positive : l'effet k croît avec la richesse du sol (+ 18 + 67 + 85 ppm K_2O) et l'effet K

résiduel croît avec la dose annuelle (+ 40 + 63 + 107 ppm K_2O) ou en d'autres termes : l'appauvrissement en K2 a été beaucoup plus élevé que l'enrichissement en K0 (85 contre 18 ppm K_2O).

En réalité, en sol pauvre (K0) l'application d'assez fortes fumures potassiques (k2) a à peine permis de maintenir le niveau initial du sol en K_2O échangeable, compte tenu des cultures pratiquées (0,095 à 0,088‰).

En sol enrichi (K2) par contre, la suppression de la fumure potassique (k0) s'est traduite par un appauvrissement considérable en K_2O échangeable (0,30 à 0,11‰) et l'apport de la dose k2 lui-même n'a pas permis d'éviter l'appauvrissement du sol, compte tenu des cultures pratiquées au cours de cette période.

Les conditions de cet essai ont confirmé que s'il est relativement rapide d'épuiser en K_2O un sol enrichi, il est plus difficile de redresser un sol appauvri (figure 15).

11.2. ESSAI de LIEUSAIN (Seine et Marne) 1953-1956

Le dispositif de l'essai, créé en 1932, comportait trois bandes adjacentes K0, K1, K2 recoupées par des bandes transversales portant différentes cultures. La rotation pratiquée était du type pomme de terre-blé-orge.

Après 20 ans d'expérimentation, deux des bandes transversales du champ d'essai ont été consacrées pendant 4 ans

(1953 à 1956) à l'étude du redressement et de l'épuisement du sol en potasse. Cet essai comportait ainsi deux bandes de trois grandes parcelles (K0, K1, K2), chacune étant subdivisée en 6 sous-parcelles consacrées à l'étude de 3 doses de fumure potassique annuelle (k0, k1, k2) répétées deux fois, soit 36 sous-parcelles (dispositif identique à celui de Levét).

11.2.1. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE

L'essai d'appauvrissement enrichissement a été poursuivi pendant 4 ans avec les cultures et les doses suivantes :

| | | | |
|-------------|----------------|-----------------------|----------------|
| 1953 blé : | k0, k110, k175 | 1955 pomme de terre : | k0, k150, k200 |
| 1954 orge : | k0, k58, k116 | 1956 blé : | k0, k100, k175 |

La table d'interaction moyenne (k annuelle × K résiduelle) pour les 4 récoltes, exprimée en indices par rapport à k0 K0 (témoin absolu sans potasse) est la suivante :

Essai de Lieusaint : rendements en indices

| k \ K | K0 | K1 | K2 | Effet k |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|---------|
| k0 | 100,0 | 113,6 | 121,7 | 111,8 |
| k102 | 113,2 | 119,8 | 124,2 | 119,0 |
| k166 | 124,0 | 122,9 | 131,8 | 126,2 |
| Effet K | 112,4 | 118,8 | 125,9 | |

On constate ici que les effets k (potasse annuelle) et K (potasse résiduelle) ont été de même importance. La fumure potassique renforcée (k166) sur sol K0 a déjà donné des résultats proches des meilleurs.

Les teneurs en K₂O échangeable des trois bandes K0, K1, K2 avant l'essai (fin 1952) étaient respectivement : 0,10 - 0,15 - 0,20 ‰. Après 4 ans du nouvel essai (fin 1956), la situation était la suivante :

11.3. ESSAI de PONT SAINT MARTIN (Loire Atlantique) 1972-1973

Le dispositif expérimental était composé de deux essais factoriels de type 4N × 2P × 4K en confondu à 32 parcelles (voir page 19).

En 1972, après 10 ans d'essai, l'essai I (sans fumier) a été modifié. Les 8 traitements K0 antérieurs étaient si faibles qu'il devenait sans intérêt d'aggraver la déficience et les 4 doses de potasse antérieures (K0, K1, K2, K3) furent remplacées, respectivement, par K1, K2, K3, K4. D'autre part, 4 parcelles furent ainsi subdivisées :

| | | |
|--|---|--------------------------|
| { N4 P1 K0 en N4 P1 K0 et N4 P1 K1 N4 P2 K0 en N4 P2 K0 et N4 P2 K1 | } | k0 scindé en K0 et K1 |
| | | |

K0/K0 correspond à la poursuite de l'appauvrissement après 10 ans de K0.

K1/K0 correspond à 2 ans de faibles apports K1 après 10 ans de K0.

K0/K3 correspond à 2 ans d'appauvrissement après 10 ans de K3.

K4/K3 correspond à la poursuite de l'enrichissement après 10 ans de K3.

11.3.1. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE

1) Les traitements K0 K0 et K275 K3 correspondent à la poursuite des anciens K0 et K3 : l'appauvrissement semble s'être accentué (passage de 37 à 20 ppm) et l'enrichissement a peu varié.

2) L'effet des 2 ans de K50 après K0 a été très minime par rapport à l'état initial (+8 ppm), vu l'effet important sur les rendements (+14 q/ha).

3) L'effet des 2 ans de K0 après K3 fut considérable : le sol s'est appauvri de 105 ppm et le sous-sol de 20 ppm.

Les conclusions de ces trois essais sont importantes.

1) On appauvrit facilement et rapidement sans potasse (k0) un sol qui vient d'être récemment enrichi en K₂O échangeable. Dans les trois exemples, la chute a été de l'ordre de 70 à 100 ppm, à partir de niveaux en K₂O échangeable que l'on pouvait considérer comme des niveaux d'entretien.

2) On enrichit plus difficilement et plus lentement (avec des doses d'enrichissement relatif voisines de k170) un sol qui vient d'être soumis à une assez longue période sans apport de potasse (K0).

3) Il semble y avoir un état d'équilibre K₂O échangeable pour diverses intensités de fertilisation potassique.

Essai de Lieusaint : K₂O échangeable (‰) 1956

| k \ K | K0 | K1 | K2 | Effet k |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|---------|
| k0 | 0,120 | 0,140 | 0,150 | 0,136 |
| k1 | 0,130 | 0,160 | 0,210 | 0,166 |
| k2 | 0,150 | 0,180 | 0,220 | 0,183 |
| Effet K | 0,133 | 0,160 | 0,193 | |

Comme à Levet, la diagonale k0 K0 - k2 K2 correspond à la poursuite de l'ancien dispositif.

Comme à Levet, les effets k et K et l'interaction k × K sont positifs. L'effet k s'élève avec la richesse du sol (30 à 70 ppm) et l'effet richesse du sol avec k (30 à 70 ppm).

L'état antérieur (0,10 - 0,15 - 0,20) a peu fluctué (0,12 - 0,16 - 0,22).

On retrouve donc les mêmes tendances qu'à Levet, mais à un niveau de fertilité potassique plus élevé. Ces faits apparaissent nettement sur la figure 15 qui montre en particulier qu'on appauvrit plus aisément un sol enrichi (-70 ppm) que l'on enrichit un sol appauvri (+30 ppm).

On ne dispose malheureusement que de 2 ans des nouveaux traitements, car l'essai s'est achevé avec la culture de 1973.

Les deux années ont porté sur maïs-grain et les résultats annuels moyens figurent ci-dessous.

Maïs-grain sec (q/ha)

| K ₂ O (kg/ha) par an 1972-73 | K ₂ O par an (kg/ha) 1962 à 1971 | |
|---|---|-----------|
| | K0 | K240 (K3) |
| K0 | ↓ 24,4 | 55,5 |
| K50 | 38,6 | ↑ 58,6 |
| K275 | | |

Les deux ans de K50 ont permis une majoration moyenne de 14 q/ha.

Les deux ans de K0 sur K3 ont provoqué une perte moyenne de 3 q/ha seulement, mais au prix de l'épuisement du sol en K₂O (il n'est pas à exclure totalement le risque de «pollution» potassique des K0/K3 par les sous-parcelles voisines K4/K3).

K₂O échangeable (‰) fin 1973

| | Sol (0-20 cm) | | Sous-sol (20-40 cm) | |
|-------------------------------------|---------------|--------------|---------------------|--------------|
| | K0 | K3 | K0 | K3 |
| K0 | ↓ 0,020 | 0,060 | ↓ 0,020 | 0,050 |
| K50 | 0,045 | ↑ 0,165 | ↓ 0,025 | ↑ 0,070 |
| K275 | | | | |
| K₂O éch. fin 1971 | 0,037 | 0,179 | 0,032 | 0,074 |

12 - ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE DANS DES ESSAIS SUR SOLS À POUVOIR FIXATEUR ÉLEVÉ À TRÈS ÉLEVÉ

Le problème de la fertilisation potassique de ces sols avait précédemment retenu l'attention ; il s'agit le plus souvent de terres lourdes de bas de pente ou d'anciens marais mis en culture de maïs et où celui-ci se montre très sensible aux difficultés de nutrition potassique liées aux pouvoirs fixateurs élevés (19). On considérera ici l'évolution du potassium sur les essais de La Sauvetat et de Moirans qui correspondent à de telles conditions.

| Essais | Argile % | | Mat. org. % | | CEC meq % | | K ₂ O éch. ‰ | |
|-------------|----------|----------|-------------|----------|-----------|----------|-------------------------|----------|
| | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol |
| La Sauvetat | 42,8 | 42,4 | 5,5 | 3,2 | 27,0 | 24,0 | 0,08 | 0,07 |
| Moirans | 23,4 | 18,1 | 4,3 | 2,5 | 14,0 | 11,0 | 0,05 | 0,03 |

Le sol de La Sauvetat (Gers) correspondait à un sol de bas de pente en région de terreforts, au complexe absorbant saturé par la chaux et la magnésie et particulièrement pauvre en potasse. Le pouvoir fixateur, selon la méthode Van der Marel, est de 60 % à l'état sec (le pouvoir de libération est d'autre part très minime, l'extraction au tétraphénylborate de sodium 0,1 N après 7 jours ayant été de 17 ppm en sus du potassium échangeable).

Le sol de Moirans (Isère) correspond aux alluvions de l'Isère. Le pouvoir fixateur et après séchage fut trouvé de 88 % pour le sol et de 94 % pour le sous-sol.

12.1. ESSAI de LA SAUVETAT (Gers) 1968-1974

12.1.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET EFFET POTASSE

Cet essai a étudié, pendant 7 ans, la fertilisation N x K sur un dispositif expérimental en split-plot, avec six blocs des huit traitements 2N x 4K, sous parcelles N, en présence d'une fumure phosphatée uniforme.

La réponse à la potasse a été très élevée et s'est poursuivie jusqu'à la dose supérieure en essai.

Effet potasse sur l'essai de La Sauvetat

| Grains q/ha | K0 | K80 | K150 | K240 |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Maïs (1968, 69, 70, 74) | 21,4 | 44,0 | 63,6 | 73,4 |
| Blé (1971, 73) | 29,5 | 35,0 | 35,3 | 36,4 |
| Sorgho (1972) | 72,0 | 83,6 | 89,2 | 91,6 |
| Indices moyens | 100,0 | 185,8 | 264,1 | 306,8 |

12.1.2. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE

Des prélèvements parcellaires de sol (0-20 cm) et de sous-sol (20-40 cm) ont été réalisés en fin d'essai.

Essai de La Sauvetat : K₂O échangeable (‰)

| | K0 | K80 | K160 | K240 | ppds 0,05 | 0,01 | CV % |
|--------------------|-------|----------|----------|----------|-----------|-------|------|
| Sol | 0,060 | 0,080*** | 0,090*** | 0,104*** | 0,006 | 0,008 | 9,0 |
| Sous-sol | 0,052 | 0,057* | 0,058* | 0,059** | 0,005 | 0,007 | 11,1 |

Les effets des doses sont très positifs, mais seule la dose K240 a permis un très léger enrichissement du sol. Indiquons pour mémoire que la fonction d'enrichissement en

K₂O échangeable en fonction des doses apportées aurait indiqué que l'on aurait atteint au mieux 0,12 ‰ avec une dose très élevée de 510 kg/ha K₂O/an.

12.2. ESSAI de MOIRANS (Isère) 1970-1978

12.2.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET EFFET POTASSE

Le dispositif expérimental en confounding étudiait 16 traitements, combinant 4 doses de potasse (K1, K2, K3, K4) à deux modes de placement et deux formes de potasse, avec deux traitements subsidiaires (K0 et K5) au niveau des quatre sous-blocs.

L'effet moyen sur 9 ans des doses de potasse (maïs en culture continue) a été considérable et s'est poursuivi au moins jusqu'à K320.

En 9 ans, le rendement K0 est passé de 68 à 25 q/ha, le

rendement K80 de 75 à 65 q/ha, cependant que les rendements des doses élevées se sont maintenus.

Effet potasse sur l'essai de Moirans - maïs, (q/ha grains secs) 1970 à 1978

| K0 | K80 | K160 | K240 | K320 | K400 |
|------|------|------|------|------|------|
| 41,5 | 67,7 | 75,9 | 77,9 | 82,0 | 83,0 |

12.2.2. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE

Des prélèvements parcellaires de sol (0-20 cm) et de sous-sol (20-40 cm) ont été réalisés fin 1978, après 9 ans.

Essai de Moirans : K₂O échangeable (‰)

| | K0 | K80 | K160 | K240 | K320 | K400 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Sol | 0,032 | 0,036 | 0,042 | 0,045 | 0,059 | 0,073 |
| Sous-sol | 0,017 | 0,020 | 0,023 | 0,023 | 0,024 | 0,021 |

La dose K240 a à peine permis le maintien du niveau potassique initial. Les doses K320 et K400 ont permis un léger enrichissement. Il n'y a aucun mouvement perceptible en sous-sol.

L'enfouissement des pailles, tiges et feuilles, pratiqué sur ces deux essais n'a pas permis d'atténuer l'ampleur de la fixation.

En conclusion, on peut se demander si, sur les sols à très fort pouvoir fixateur, il est réaliste de préconiser les doses de correction de K₂O échangeable déduites du calcul à partir du pouvoir fixateur et s'il ne serait pas préférable de se limiter à des doses annuelles copieuses de K300 à K400, dont une partie pourrait être localisée.

13 - EFFETS DES INTERACTIONS N × K ET P × K SUR L'ENRICHISSEMENT DES SOLS EN POTASSIUM DANS LES ESSAIS FACTORIELS

Dans tout ce qui précède, bien qu'il s'agissait le plus souvent d'essais factoriels N × K ou N × P × K, l'effet potasse a été envisagé au niveau de l'effet principal (c'est-à-dire, tous les niveaux des autres facteurs, azote en particulier, confondus). On a cependant constaté dans divers cas que les interactions pouvaient se répercuter au niveau de K échangeable dans le cas où elles ont présenté une certaine importance au niveau des rendements (voir en ce sens les essais d'Ozoir le Breuil (page 13), Laval (page 22), Aspach (page 29). A doses égales de K₂O, il est logique d'enregistrer des enrichissements en K₂O plus importants en l'absence d'apport d'un autre facteur limitant et moins importants en présence, par exemple, de doses d'azote élevées, comme résultats de bilans modifiés dans le sens positif ou négatif. On se limitera ici à un exemple N × K et un exemple P × K.

| Essais | Argile (%) | | Mat. org. (%) | | CEC (meq %) | | K ₂ O éch. (‰) | |
|---------------|------------|----------|---------------|----------|-------------|----------|---------------------------|----------|
| | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol | Sol | Sous-sol |
| Venours | 18,2 | 28,9 | 3,3 | 1,8 | 11,2 | 10,8 | 0,17 | 0,12 |
| Pleyben | 21,4 | — | 6,1 | — | 16,5 | — | 0,12 | — |

Le sol de l'essai de Venours correspond aux terres à châtaigniers du Poitou (sablo-limoneux, assez riche en matière organique, assez moyen en potasse).

Le sol de l'essai de Pleyben correspondait à un sol brun légèrement lessivé, plutôt pauvre en potasse.

13.1. ESSAI de VENOIRS (Vienne) 1965-1978

13.1.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET EFFET POTASSE

Le dispositif de cet essai poursuivi au Lycée Agricole de Venours, est un factoriel N × P × K (3 × 3 × 3) à deux répétitions (54 parcelles).

De 1965 à 1978, la succession des cultures a été la suivante: pomme de terre, blé, ray-grass d'Italie 2 ans, blé, maïs ensilage, maïs-grain, blé, orge, luzerne-ray-grass

2 ans, maïs ensilage, blé, maïs-grain. Les doses moyennes sur la période furent de K0, K94, K188 et l'effet principal potasse (en indices) de 100,0 - 105,8 - 106,6. L'essai avait reçu par ailleurs des apports uniformes de fumier de ferme à raison de 47 t/ha en 1965 avant pomme de terre (320 kg/ha K₂O) et 25 t/ha en 1970 (138 kg/ha K₂O).

13.1.2. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE

Des analyses parcelaires ont été effectuées en novembre 1977 après blé. Les effets N, K et l'interaction N x K ont été importants sur l'évolution du potassium. L'effet azote est négatif et significatif du fait de l'effet N sur les rendements eux-mêmes (qui s'exprime par les indices respectifs de 100 - 117,7 - 119,6 pour N60, N120, N180). L'effet potasse est très positif et l'interaction N x K est négative (l'effet potasse décroît avec la dose d'azote).

Le niveau potassique du sol semble s'être bien maintenu avec K90 et très nettement enrichi avec K180 (faible réponse de K90 à K180). Les meilleurs résultats ont correspondu sur la moyenne à environ N125 K130, soit environ 0,24 °/° K₂O échangeable.

En sous-sol (20-40 cm), l'effet K s'est maintenu (0,10 - 0,15** - 0,22** °/°) et l'effet N négatif en K180 (0,26 - 21 - 0,20 °/°).

Essai de Venours : K₂O échangeable (°/°) 1977

| Sol 0-20 cm | K0 | K90 | K180 | Effet N |
|--|--------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| N60 | 0,118 | 0,218 | 0,323 | 0,220 |
| N120 | 0,092 | 0,188 | 0,295 | 0,192* |
| N180 | 0,105 | 0,183 | 0,273 | 0,187** |
| Effet K .. | 0,105 | 0,197*** | 0,297*** | CV = 16,8% |
| ppds 0,05 effets N, K = 0,023 Inter N x K = 0,040 ppds 0,01 effets N, K = 0,030 Inter N x K = 0,052 | | | | |

13.2. ESSAI de PLEYBEN (Finistère) 1957-1969

13.2.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ET EFFET POTASSE

Cet essai avait été conduit en liaison avec la Station Agronomique de Quimper; le dispositif expérimental comportait 4 répétitions de 9 traitements (3 doses de P₂O₅ x 3 doses de K₂O). L'essai comportait un apport de fumier en tête de rotation (20 t/ha en 1956, 30 t/ha en 1959, 10 t/ha en 1964, 40 t/ha en 1968).

De 1957 à 1969, la succession des cultures a été la suivante: pomme de terre, blé, ray-grass-trèfle, pomme de

terre, luzerne 3 ans, petits pois + navets, maïs fourrage, pomme de terre, orge. Les doses moyennes sur la période furent de K0, K90, K180 et l'effet principal potasse (en indices) de 100,0 - 106,5 - 109,1.

L'essai s'est caractérisé par une réponse moyenne à K₂O et par une réponse très élevée à P₂O₅ (indices respectifs de 100,0 - 199,4 - 233,8).

13.2.2. ÉVOLUTION DU POTASSIUM ÉCHANGEABLE

D'après les analyses de la Station de Quimper, la potasse échangeable a évolué ainsi, pour l'effet potasse K0, K1, K2: 0,107 - 0,197 - 0,215 °/° en février 1961; 0,055 - 0,086 - 0,167 °/° en décembre 1963; 0,063 - 0,148 - 0,259 °/° en

novembre 1965. Les teneurs ont fortement baissé après luzerne (1963) et ont remonté ensuite.

Après la culture de 1967, les teneurs étaient les suivantes, par traitements P x K:

K₂O échangeable (°/°) sols (0-20 cm)

| P \ K | K | | | Effet P | ppds | 0,05 | | 0,01 | |
|----------------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | K0 | K89 | K178 | | | 0,022 | 0,030 | | |
| P0 | 0,080 | 0,237 | 0,344 | 0,220 | Effet P ou K Table P x K | 0,022 | 0,030 | 0,038 | 0,052 |
| P77 | 0,060 | 0,129 | 0,284 | 0,158*** | | | | | |
| P154 | 0,065 | 0,119 | 0,250 | 0,145*** | | | | | |
| Effet K | 0,068 | 0,161*** | 0,292*** | | CV = 15,0% | | | | |

L'interaction P x K est ici nettement négative sur les teneurs en K₂O et correspond à une interaction P x K positive sur les rendements.

En P0, la culture, très déficiente en phosphore, présentait de très faibles rendements et donc de très faibles exportations de K₂O.

Aux doses P1 ou P2, le niveau potassique du sol a été à peu près exactement équilibré avec K90 et s'est nettement enrichi avec K180.

Pleyben : interaction P x K

| Indices | K0 | K2 |
|---------|-------|-------|
| P0 | 100,0 | 108,0 |
| P2 | 203,4 | 228,2 |

Chacun de ces deux exemples fournit un éventail très large de teneurs en K₂O échangeable entre les situations extrêmes (1 à 3 à Venours et 1 à 5 à Pleyben). Cela montre en particulier, la sensibilité très acceptable du potassium échangeable, dans de telles conditions de sols.

On constate aussi que les fluctuations à attendre sur K₂O échangeable sont beaucoup plus étroites sur sol pauvre que sur sol riche et cela semble indiquer qu'il serait préférable, dans les distributions fréquentielles de teneurs en analyses de routine, d'adopter des classes plus larges avec l'élévation de la teneur en K₂O.

Il apparaît aussi à l'évidence qu'il est inutile de rechercher certains niveaux élevés de K₂O échangeable dans un sol présentant d'autres déficiences. Ainsi, dans le cas de Pleyben, il serait sans intérêt de dépasser 0,25 °/° (niveau réalisé en P2 K2).

SYNTHÈSE et CONCLUSIONS

○ SYNTHÈSE DES RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX RELATIFS À L'ÉVOLUTION DE K₂O ÉCHANGÉABLE

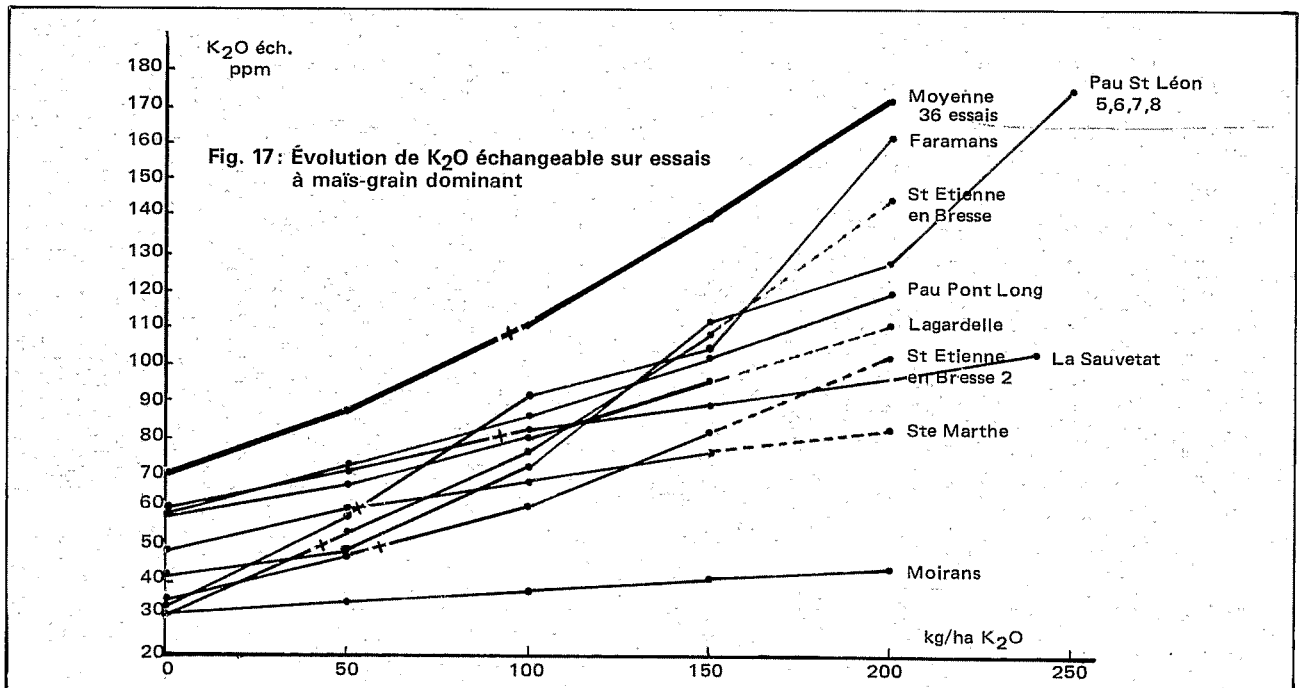
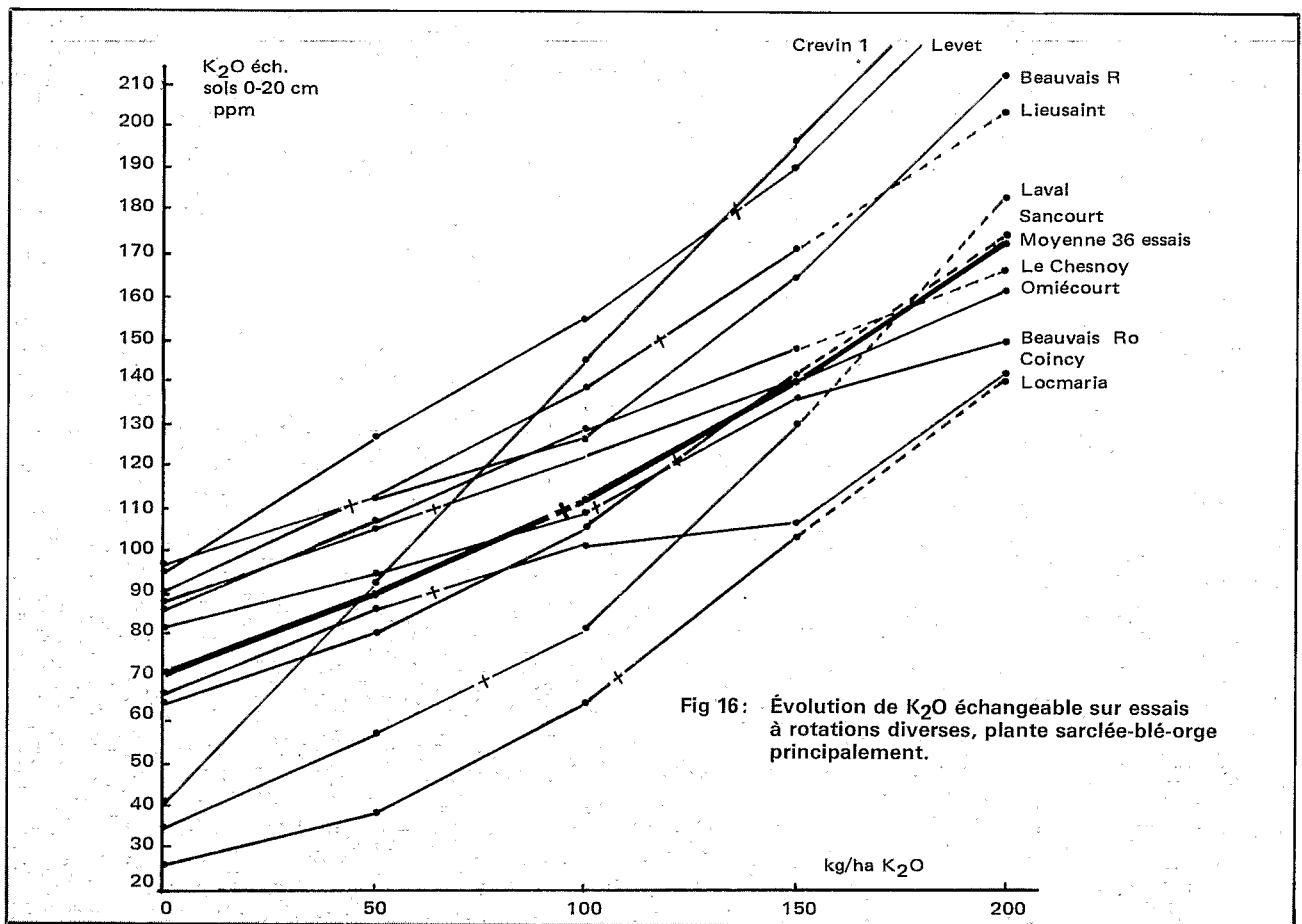
Un assez grand nombre de cas ont été traités, correspondant en particulier aux principaux types de rotations pratiquées en France. Pour donner une vue plus synthétique des résultats, ceux enregistrés sur 36 essais permanents sont condensés dans le tableau suivant, où les teneurs en K₂O échangeable en dernière analyse ont été recalculées pour les doses de 0, 50, 100, 150, 200 kg/ha K₂O à partir des courbes réelles. Les résultats sont présentés selon l'ordre d'exposé

précédent. D'autre part, les figures 16, 17, 18 représentent l'état final de K₂O échangeable sur ces mêmes essais. La teneur en K₂O initiale y est figurée par une croix sur chaque courbe. A gauche de la croix, il y a eu théoriquement appauvrissement et à droite, enrichissement. En fait, il a été indiqué précédemment qu'il était parfois difficile de se reporter avec rigueur à K₂O échangeable d'origine, car une dizaine d'années séparent souvent les deux échantillonnages (et

Evolution de K₂O échangeable sur 36 essais

| Essais | Doses moyennes K ₂ O (kg/ha) sur la période | | | | Période nombre d'années avant analyse) | K ₂ O éch. origine (ppm) | K ₂ O échangeable en dernière analyse (ppm) | | | | |
|---------------------------|--|-----|-----|-----|--|-------------------------------------|--|-----------|------------|------------|--------------|
| | K0 | K1 | K2 | K3 | | | K0 | K50 | K100 | K150 | K200* |
| Beauvais R0 | 0 | 108 | 161 | 215 | 9 | 110 | 82 | 95 | 108 | 136 | 149 |
| Beauvais R | 0 | 108 | 161 | 215 | 9 | 110 | 98 | 112 | 127 | 164 | 212 |
| Coincy | 0 | 102 | 153 | 205 | 12 | 90 | 67 | 85 | 102 | 106 | 142 |
| Sancourt | 0 | 73 | 146 | — | 15 | 120 | 64 | 80 | 106 | 141 | (174) |
| Locmaria | 0 | 73 | 146 | — | 9 | 70 | 25 | 38 | 64 | 103 | (143) |
| Omiécourt | 0 | 87 | 174 | 261 | 12 | 110 | 88 | 105 | 122 | 141 | 162 |
| Ozoir le Breuil | 0 | 83 | 166 | — | 10 | 250 | 193 | 204 | 225 | 264 | (302) |
| Saint Étienne B. 1 | 0 | 60 | 120 | 180 | 8 | 50 | 31 | 54 | 76 | 109 | (146) |
| Saint Étienne B. 2 | 0 | 60 | 120 | 180 | 6 | 50 | 35 | 46 | 61 | 81 | (103) |
| Faramans | 0 | 64 | 128 | 192 | 11 | 60 | 33 | 58 | 92 | 104 | 164 |
| Sainte Marthe | 0 | 84 | 152 | — | 10 | 60 | 49 | 60 | 68 | 76 | (81) |
| Lagardelle | 0 | 70 | 140 | — | 7 | 60 | 58 | 67 | 80 | 95 | (110) |
| Pau Saint Léon 1, 2, 3, 4 | 0 | 50 | 100 | 150 | 12 | 60 | 40 | 37 | 42 | 37 | 42 |
| Pau Saint Léon 5, 6, 7, 8 | 0 | 50 | 100 | 150 | 12 | 60 | 40 | 47 | 72 | 112 | 127 |
| Pau Pont Long | 21 | 109 | 197 | — | 6 | 40 | 58 | 72 | 86 | 103 | 120 |
| Pont Saint Martin 1 | 0 | 87 | 166 | 245 | 12 | 70 | 31 | 39 | 56 | 86 | 132 |
| Pont Saint Martin 2 | 0 | 79 | 158 | 237 | 12 | 70 | 32 | 38 | 54 | 76 | 101 |
| Rennes | 0 | 85 | 170 | 255 | 9 | 70 | 37 | 45 | 53 | 62 | 76 |
| Laval | 0 | 115 | 178 | — | 11 | 70 | 33 | 57 | 82 | 129 | (185) |
| Notre Dame de Clarté .. | — | 45 | 131 | 176 | 8 | 90 | (28) | 48 | 68 | 93 | (126) |
| Crevin 1 | — | 55 | 162 | 219 | 10 | 120 | (41) | 94 | 145 | 197 | 240 |
| Crevin 2 | — | 51 | 151 | 204 | 10 | 120 | (25) | 60 | 94 | 128 | 157 |
| Le Rafidin sole 1 | 0 | 87 | 174 | — | 9 | 80 | 60 | 85 | 105 | 106 | 110 |
| Le Rafidin sole 2 | 0 | 89 | 178 | — | 9 | 80 | 60 | 105 | 155 | 210 | 270 |
| Lévignac | 0 | 76 | 138 | 196 | 12 | 160 | 141 | 144 | 155 | 173 | 175 |
| Les Loges | 0 | 70 | 140 | 210 | 6 | 80 | 72 | 73 | 92 | 115 | 114 |
| Saint Martin Osm. | 0 | 70 | 140 | 210 | 7 | 150 | 74 | 76 | 84 | 98 | 117 |
| Levet | 0 | 115 | 185 | — | 10 | 180 | 95 | 127 | 155 | 190 | 325 |
| Lieusaint | 0 | 103 | 163 | — | 27 | 150 | 90 | 113 | 138 | 170 | (204) |
| La Sauvetat | 0 | 80 | 160 | 240 | 7 | 80 | 60 | 73 | 82 | 89 | 97 |
| Moirans | 0 | 80 | 160 | 240 | 9 | 50 | 32 | 35 | 38 | 42 | 44 |
| Venours | 0 | 90 | 180 | — | 13 | 170 | 105 | 155 | 206 | 260 | 318 |
| Pleyben (P2) | 0 | 90 | 180 | — | 11 | 120 | 65 | 96 | 134 | 207 | (280) |
| Le Chesnoy | 0 | 60 | 120 | 180 | 7 | 100 | 86 | 106 | 127 | 147 | (165) |
| Les Touches de P. | 0 | 62 | 105 | 148 | 10 | 440 | 330 | 370 | 450 | 564 | (680) |
| Javron | 0 | 90 | 180 | — | 7 | 90 | 60 | 82 | 103 | 126 | 148 |
| Moyennes | | | | | 10 | 108 | 70 | 88 | 111 | 140 | (173) |

* Pour K200, les valeurs entre parenthèses sont assez souvent extrapolées.



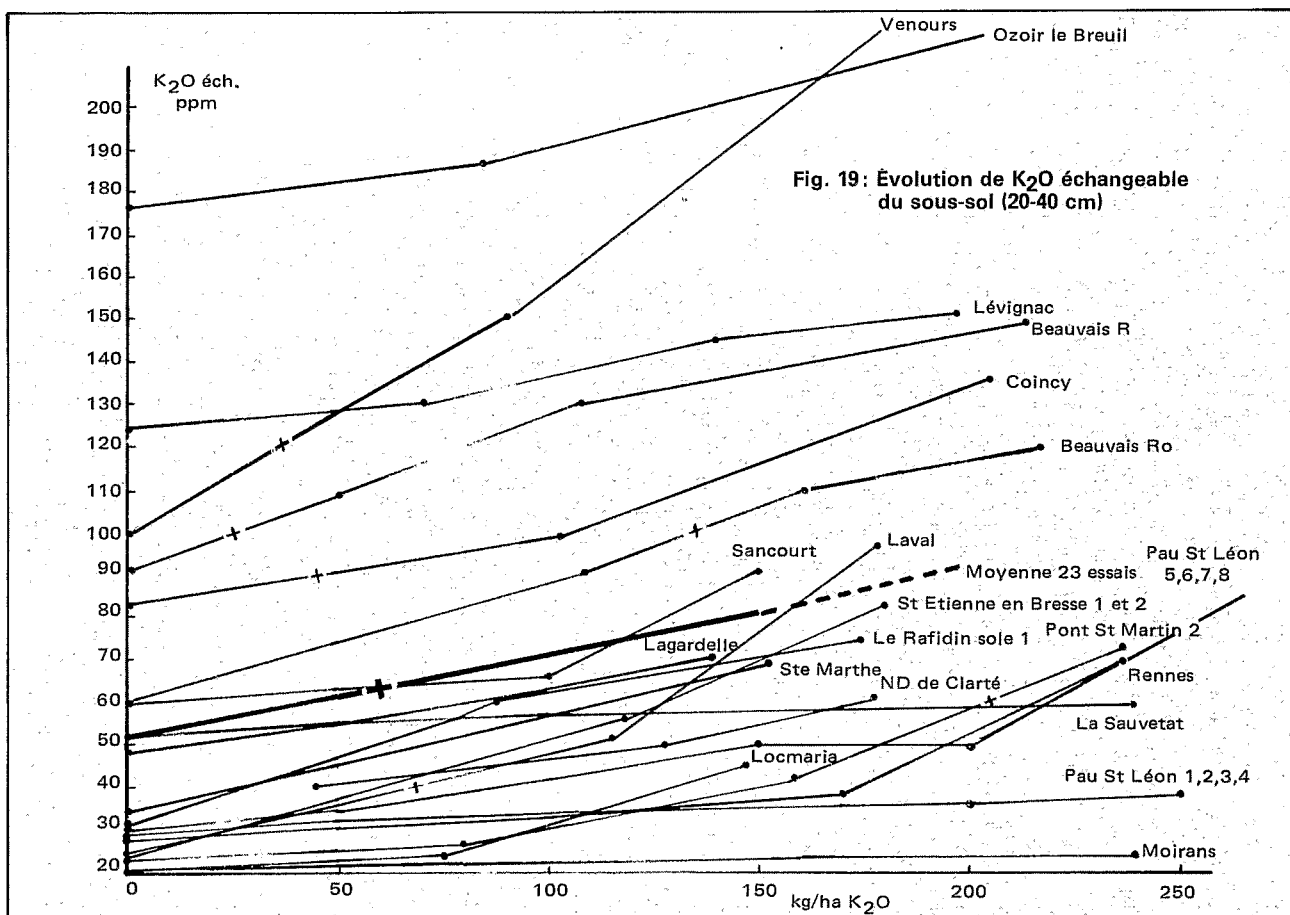
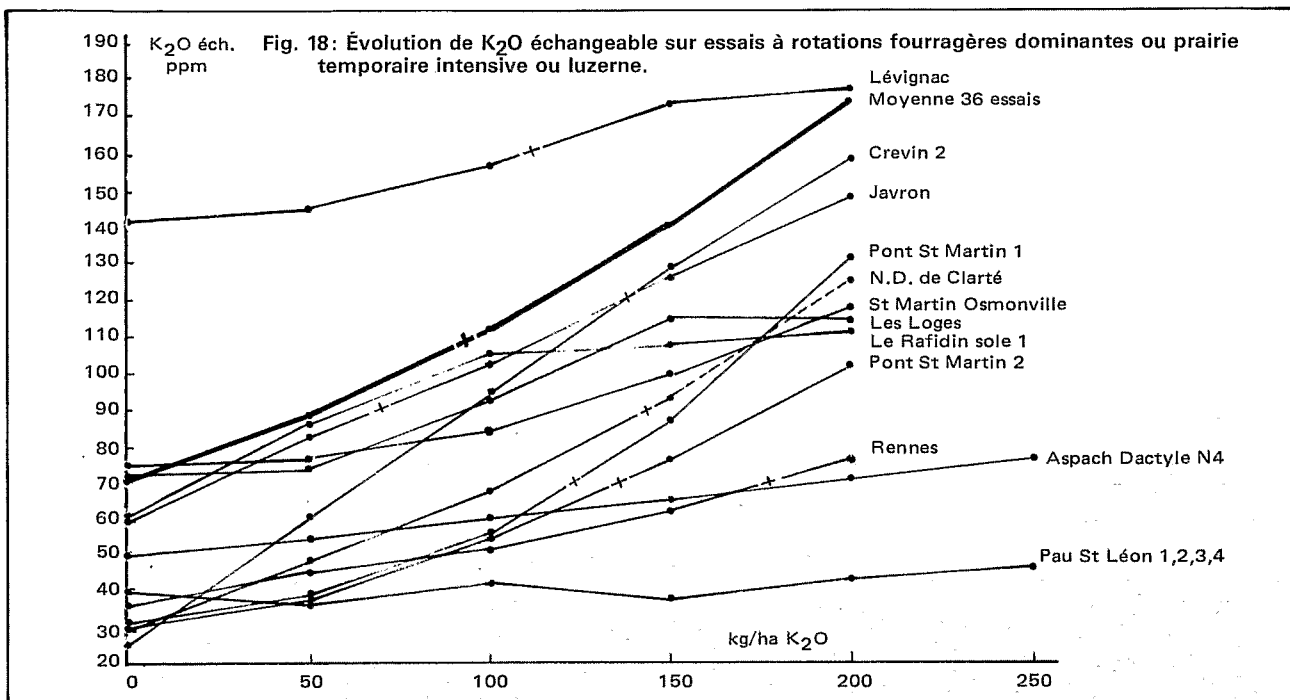
surtout les deux séries d'analyses ont le plus souvent été effectuées par deux laboratoires, à Mulhouse pour l'origine, à Toulouse pour la fin d'essai).

A l'état final, l'enrichissement procuré par des doses croissantes de K50 est, par rapport à l'état final K0, croissant selon: +18, +23, +29, +33 ppm, résultat attendu puisque rendements et exportations K₂O par les récoltes ne croissent pas proportionnellement aux doses.

Compte tenu de la remarque au sujet de la comparaison avec l'origine, il semble qu'en moyenne, sur ces

36 essais, tous types de sols, de rotations confondus, l'état K initial ait été maintenu avec K100. Il est probable que l'augmentation des exportations par rapport à K0 (suppléments de rendements × accroissements de teneurs en K des plantes) a été compensée par les apports. En moyenne, au-dessus de K100, il y a eu enrichissement effectif.

Il apparaît que l'enrichissement (ou l'appauvrissement) en K échangeable mesuré dépend en particulier des facteurs suivants :



1) **Les doses de K₂O appliquées** et leur ancienneté: on a vu que l'enrichissement est en général très faible pour les doses inférieures à 100 kg/ha K₂O/an et qu'il y a plutôt appauvrissement.

2) Les exportations par les récoltes ou en d'autres termes l'état du bilan K₂O exporté/K₂O apporté. A cet égard, l'influence fondamentale des **successions culturales** est nettement apparue dans cette étude. Ce fut en particulier le cas des essais comportant l'étude de deux rotations (sur un

même type de sol) comme ceux de Saint Étienne en Bresse, Pau Saint Léon, Crevin, Le Rafidin.

3) **La nature des sols.** Sur les sols à très fort pouvoir fixateur, il n'est pas possible d'obtenir avec les doses de la pratique un enrichissement notable (voir courbe Moirans, figure 17). Il peut en être de même sur les sols à très faible CEC (voir courbe de Sainte Marthe, figure 17 où CEC = 8 meq%). Mais en dehors même de ces cas particuliers, la nature du sol est de nature à influencer la courbe d'appauvrissement/enrichissement en K.

D'autres facteurs moins fondamentaux peuvent influencer les résultats :

4) **La période d'échantillonnage par rapport aux cultures.** Sur les essais où les parcelles sont échantillonnées chaque année, il est bien apparu que l'enrichissement mesuré dépendait du précédent cultural. On trouve toujours des courbes d'enrichissement plus basses après pomme de terre, prairie temporaire (exemple de Pau), etc. Une bonne méthode consiste à échantillonner en fin de rotation. LEFÈVRE et HIROUX avaient attiré l'attention sur l'importance de l'effet des cultures et de leur succession dans la rotation, dans l'interprétation des analyses de sols (16).

5) **La nature de l'échantillonnage** et en particulier la profondeur de prélèvement. Ce dernier point est très important. L'enrichissement en K relativement faible par rapport aux fumures pratiquées, enregistré dans certains cas, pourrait s'expliquer en partie par l'approfondissement des labours. Le sous-sol se trouverait alors également enrichi au détriment de la couche 0-20 cm. La figure 19 représente, pour certains de ces 36 essais considérés, l'évolution de K_2O échangeable pour le sous-sol 20-40 cm. Sur la plupart des essais, l'effet des doses de K_2O sur K_2O échangeable du sous-sol est significatif, traduisant donc bien une migration K en sous-sol. A La Sauvetat et Moirans, par contre, on notera l'absence totale d'effet en sous-sol, en liaison avec le fort pouvoir fixateur.

Il est donc très important, dans de telles études, de procéder à des échantillonnages précis tant en surface (nombre de prélèvements) qu'en profondeur.

L'évolution de la fertilité potassique dépend donc surtout des successions culturales pratiquées (problèmes de bilans K_2O) et des caractéristiques physico-chimiques des sols.

En ce qui concerne les cultures, les faits suivants ont pu être établis :

— **Sur la rotation betterave-blé, l'enrichissement peut être assez rapide si les résidus sont enfouis (Beauvais R) et au contraire très lent s'ils sont sortis (Beauvais R0 et Coincy) :** figure 16.

— **Sur la rotation betterave-blé-orge, les résultats sont assez voisins du cas précédent (dans cet exemple, les essais de Sancourt et de Locmaria ont par ailleurs bien montré qu'il est plus difficile d'enrichir si on bloque la potasse sur la tête de rotation).**

— **Sur les rotations à base de cultures fourragères grosses exportatrices de K_2O , les possibilités d'enrichissement sont très faibles (voir courbes Rennes, Notre Dame de Clarté, Pont Saint Martin, figure 18).**

— **En rotations intensives maïs-herbe ou maïs ensilage-ray-grass ensilage, il devient difficile d'enrichir, sinon même maintenir le statut potassique du sol, aux doses de K_2O habituelles (Pau Saint Léon 1, 2, 3, 4, figure 18).**

— **En culture continue du maïs, avec enfouissement des tiges, l'enrichissement peut être assez notable et rapide selon les doses (courbe Pau Saint Léon 5, 6, 7, 8, correspondant à 8 maïs en 12 ans, figure 17).**

• BILANS DE FERTILISATION POTASSIQUE ET ÉVOLUTION DE K_2O ÉCHANGEABLE

Lorsque des bilans assez précis ont pu être réalisés, grâce aux analyses de plantes ici pratiquées dans de nombreux cas, il est apparu que le point de bilan nul correspondait à peu près au statu quo du niveau K_2O échangeable (essais d'Omiécourt, Pont Saint Martin, Rennes, Notre Dame de Clarté).

En bilan positif ou négatif, on ne trouve pas (en K_2O échangeable), soit à l'enrichissement, soit à l'appauvrissement, les quantités de K_2O du bilan. Ce fait est connu depuis une vingtaine d'années, un des intérêts de la présente étude étant sans doute de le confirmer et de le mesurer dans des conditions de sols et de cultures beaucoup plus nombreuses.

En 1957, BARBIER et al relataient l'évolution de K_2O échangeable enregistrée après 11 années d'essai de quatre doses de K_2O à la Station Agronomique de Versailles (15 % d'argile, 0,12°/°° K_2O échangeable). La totalité des résidus de récolte était enlevée et il n'y avait pas d'apport de fumier (2). A partir des résultats des Auteurs (bilans K_2O déterminés par l'analyse des récoltes, évolution de K_2O échangeable de 1946 à 1956 de 0 à 50 cm, densité du sol en place), on a tracé la courbe A de la figure 20 indiquant la variation de la quantité de K_2O échangeable en fonction des bilans K_2O qui allaient de -1069 à +1050 kg K_2O .

En 1964, HEBERT et REMY ont rapporté des faits assez voisins à partir d'un essai de 7 ans poursuivi par la Station Agronomique de Laon sur limon du Vermandois (13,2 % d'argile, 0,19°/°° K_2O échangeable). La courbe B de la figure 20 représente également la variation de K_2O échangeable de la couche labourée (il n'y avait pas eu de migration en sous-sol).

En bilan positif la courbe B s'écarte sensiblement de la courbe A traduisant dans ce cas une fixation importante du potassium, d'où il résulte que l'augmentation de K_2O échangeable est sensiblement inférieure à l'augmentation du K_2O total du bilan. En bilan négatif, les deux courbes sont très voisines : le taux de K_2O échangeable est relativement peu diminué du fait d'une libération de potassium.

Selon les Auteurs, l'alignement des points dans l'expérience B, de part et d'autre du bilan nul, serait « peut-être l'une des preuves les plus solides de la réversibilité des phénomènes de fixation et de libération du potassium dans le sol » (13).

« Dans l'état actuel de nos connaissances », concluait alors BARBIER (2), « on peut admettre que K échangeable ne varie pas si le bilan de K total reste en équilibre dans le type de sol considéré et, d'autre part, les phénomènes de fixation et de libération seraient réversibles ».

Certains des résultats ici présentés semblent bien confirmer que le point de bilan nul va de pair avec une faible variation du potassium échangeable, mais qu'il n'y a pas réversibilité exacte de la fixation et de la libération en termes de K échangeable.

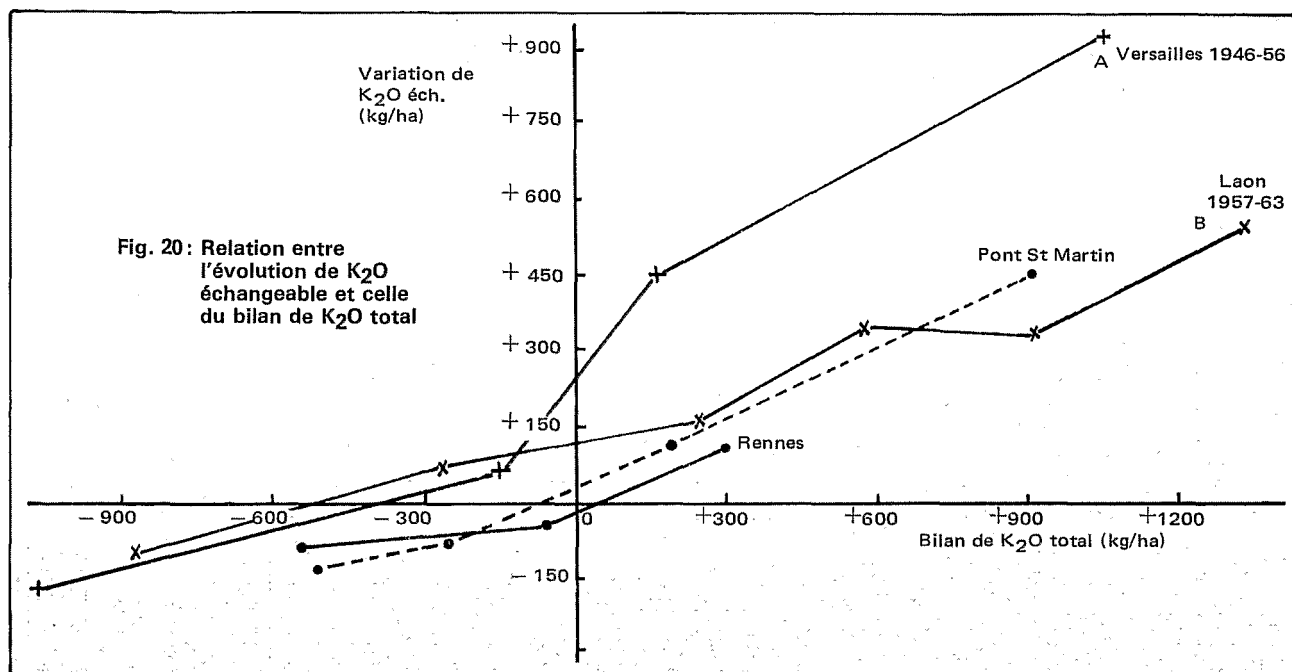
Sur la figure 20, les résultats des essais de Pont Saint Martin et Rennes ont été reportés selon la même présentation que celle des Auteurs précités.

D'une manière assez générale, la pente de la courbe est plus ou moins nettement plus faible à l'appauvrissement qu'à l'enrichissement. Ces constatations mesurées sur les essais au champ et qui apparaissent également (sous une autre présentation) sur la plupart des courbes des figures 16, 17, 18, ont été notées dans les essais en pots (25).

Le potassium échangeable ne mesure donc pas exactement l'enrichissement ou l'appauvrissement d'un sol en potasse. Il rend mieux compte de l'enrichissement que de l'appauvrissement.

Son principal mérite, selon QUÉMÈNER, est de correspondre à une quantité bien définie de K, d'être reproductible et de permettre les comparaisons entre laboratoires (à condition d'avoir bien standardisé les conditions de séchage des échantillons (27-29).

Cet Auteur a en effet montré que les courbes d'appauvrissement/enrichissement en fonction du bilan K pouvaient être influencées par le séchage des échantillons avant



analyse, celui-ci diminuant encore plus l'amplitude des variations de K échangeable par rapport à celles de K bilan (fixation accrue à l'enrichissement et libération accrue à l'appauvrissement).

Un problème important est de savoir si une partie du potassium non retrouvée en échangeable à l'enrichissement ne peut pas devenir assez facilement disponible aux cultures.

● IMPORTANCE DES PHÉNOMÈNES DE FIXATION ET DE LIBÉRATION

Caractéristiques explicatives de l'évolution de K₂O échangeable sur 25 essais.

| Essais | CEC minérale meq/100g | K libéré par NaTPB0,1N ppm K ₂ O | Pouvoir fixateur (%) sans séchage avec séchage | | Appauvrissement du K ₂ O | K ₂ O éch. origine (ppm K ₂ O) | Enrichissement du K max. |
|-------------------------------|-----------------------|---|--|----|-------------------------------------|--|--------------------------|
| Beauvais | 7,6 | 223 | 8 | 30 | - 20 | 110 | + 79 |
| Coincy | 8,9 | 97 | 6 | 30 | - 23 | 90 | + 59 |
| Sancourt | 9,5 | 12 | 11 | 41 | - 56 | 120 | + 30 |
| Locmaria | 6,2 | 22 | 4 | 30 | - 45 | 70 | + 30 |
| Omiécourt | 9,5 | 70 | 14 | 50 | - 26 | 110 | + 95 |
| Ozoir le Breuil | 17,9 | 44 | 14 | 48 | - 57 | 250 | + 27 |
| Saint Étienne en Bresse | 4,4 | 27 | - | 17 | - 19 | 50 | + 81 |
| Sainte Marthe | 4,2 | 22 | - | 14 | - 11 | 60 | + 15 |
| Lagardelle | 8,2 | 34 | 12 | 48 | - 2 | 60 | + 32 |
| Pau Saint Léon | 7,6 | 13 | 4 | 24 | - 20 | 60 | + 115 |
| Pont Saint Martin (1) | 3,5 | 24 | - | 12 | - 39 | 70 | + 111 |
| Rennes | 4,1 | 30 | - | 20 | - 33 | 70 | + 27 |
| Laval | - | 65 | 7 | 30 | - 37 | 70 | + 90 |
| Le Rafidin sole 1 | 10,0 | 34 | 14 | 20 | - 20 | 80 | + 30 |
| Saint Jean sur Moivre | 6,1 | 45 | 1 | 21 | - 95 | 150 | - 10 |
| Lévignac | 19,2 | 211 | 22 | 46 | - 19 | 160 | + 14 |
| Les Loges | 7,4 | 17 | 3 | 25 | - 8 | 80 | + 34 |
| Saint Martin Osmonville | 10,6 | 32 | 12 | 25 | - 76 | 150 | - 30 |
| Moirans | 14,3 | 9 | 93 | 98 | - 18 | 50 | + 23 |
| Venours | 7,2 | 70 | 7 | 18 | - 65 | 170 | + 127 |
| Pleyben | 8,0 | 29 | 6 | 32 | - 52 | 120 | + 172 |
| Le Chesnoy | 10,2 | 48 | - | 19 | - 14 | 100 | + 58 |
| Les Touches de Périgny | - | 104 | 27 | 50 | - 110 | 440 | + 124 |
| Javron | 9,0 | 31 | 5 | 34 | - 30 | 90 | + 58 |
| Lieusaint | - | - | 13 | 44 | - 50 | 150 | + 50 |

QUÉMÉNER et al ont étudié en cultures en pots les bilans du potassium du sol avec divers réactifs à base de tétra-phénylborate de sodium TPBNa (25-26).

Avec TPBNa, 0,05 N, le potassium extrait dans la zone des bilans positifs est en général supérieur au K échangeable. En bilan négatif (appauvrissement), le réactif n'apporte pas beaucoup plus d'informations que K échangeable.

Si l'on voulait retrouver à peu près exactement l'enrichissement ou l'appauvrissement global d'un sol (en cas de différenciation marquée par les apports et les prélèvements par les récoltes), il faudrait déterminer le potassium total, ce qui n'aurait d'ailleurs pas de signification agronomique. Mais comme il a été indiqué dans de nombreux cas, les variations de K total sous l'effet des bilans K culturaux sont minimales par rapport au stock de K total et la mesure serait imprécise (16). Dans certains sols tropicaux très pauvres en K total, il serait par contre très concevable de suivre le stock de K total.

Les mêmes Auteurs ont étudié un réactif plus énergique soit NaTPB 0,1 N + NaCl 1,9 N avec une durée d'extraction de 24 heures qui leur a donné un très bon alignement des points qui semblerait indiquer que la liaison entre K ainsi extrait et le bilan K théorique, est indépendante du mode de différenciation des échantillons (enrichissement ou appauvrissement).

Cette méthode semble donc intéressante pour étudier les variations globales du stock de potassium.

Le tableau de la page 45 rapporte pour un certain nombre d'essais du tableau de synthèse précédent, diverses caractéristiques ainsi mesurées au laboratoire d'Aspach sur des échantillons, en principe d'origine des essais, telles que la capacité d'échange CEC liée à la matière minérale, selon la méthode ADDISCOTT, le potassium libéré (en plus de K échangeable) par l'extraction Na TPB 0,1 N et le pouvoir fixateur selon la méthode de Van der MAREL (avec ou sans séchage de la terre). On y a fait figurer également l'appau-

vrissement des K0 et l'enrichissement des doses supérieures en essai (K max.), par rapport au K₂O échangeable initial.

Les caractéristiques de libération et de fixation ainsi déterminées devraient permettre de mieux expliquer les résultats extrêmes d'appauvrissement d'une part (K0) et d'enrichissement d'autre part (K max.). Schématiquement, un sol doté d'un fort pouvoir de libération devrait peu s'appauvrir en K0 et un sol doté d'un fort pouvoir fixateur devrait être difficile à enrichir (il est évident que le résultat est très influencé par le bilan de K₂O total et le niveau initial de K₂O échangeable du sol considéré).

Le tableau montre en particulier les faits suivants :

— Dans le cas de Beauvais et de Coincy, le K libéré est assez notable et le pouvoir fixateur assez moyen : l'appauvrissement des K0 est faible et l'enrichissement des K max. assez marqué.

— Dans le cas de Sancourt et de Locmaria, le K libéré est très faible et l'appauvrissement des K0 est important.

— Les sols à forte CEC minérale, à fort pouvoir fixateur, sont difficiles à enrichir (Ozoir, Lévigant, Moirans).

— De nombreux essais de cette série présentent une faible « dynamique K » (Sainte Marthe, Saint Étienne en Bresse, Pau Saint Léon, Pont Saint Martin, Rennes) et la teneur en K₂O y est tombée vers 30 à 40 ppm à l'appauvrissement, avec des enrichissements variables selon les bilans.

L'extraction par Na TPB 0,1 N utilisée dans le tableau précédent pour mesurer le potassium libéré, en plus de K échangeable, dans de telles conditions, peut aussi servir à déterminer des reliquats de fumure potassique non détectés par la mesure de K échangeable (21-29).

Pour les essais au champ de moyenne à longue durée, la méthode consiste à déterminer K extrait par Na TPB 0,1 N sur des échantillons prélevés en fin et en cours d'essai après x années d'application des doses K0, K1, K2, K3...

Le tableau ci-après rapporte les dernières mesures faites sur l'essai d'Omiécourt fin 1979 (moyennes de 3 répétitions).

Essai d'Omiécourt: libération et fixation de potassium

| | K ₂ O échangeable (ppm) | | | | K ₂ O libéré par Na TPB 0,1 N (ppm) | | | | Pouvoir fixateur | | | |
|----------------|------------------------------------|-----|-----|-----|--|-----|-----|-----|------------------|----|--------------|----|
| | K0 | K1 | K2 | K3 | K0 | K1 | K2 | K3 | sans séchage | | avec séchage | |
| | K0 | K3 | K0 | K3 | K0 | K3 | K0 | K3 | K0 | K3 | K0 | K3 |
| 0-40 cm | 100 | 136 | 182 | 269 | 54 | 100 | 120 | 194 | 16 | 8 | 50 | 37 |
| 40-60 cm | 102 | 98 | 116 | 120 | 52 | 89 | 85 | 83 | 42 | 41 | 71 | 71 |
| 60-80 cm | 124 | 114 | 118 | 115 | 98 | 77 | 100 | 108 | 50 | 45 | 76 | 72 |

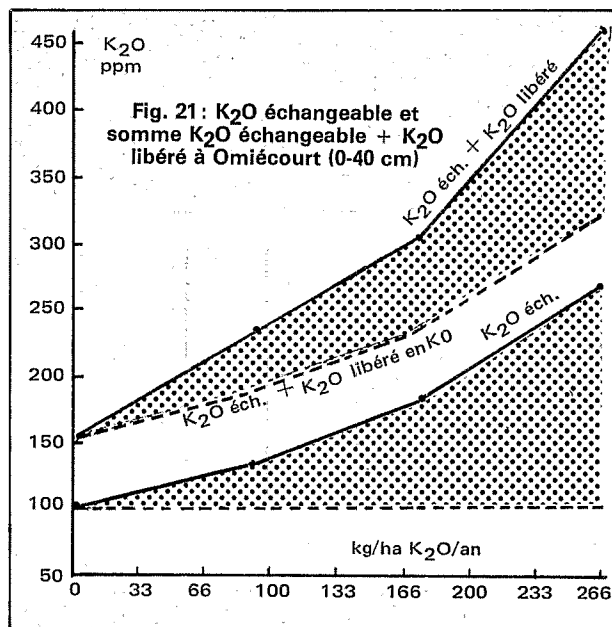
Les valeurs de K₂O échangeable sont ici plus différenciées que celles de la figure 6 page 11, mais il s'agit de prélèvements différents. Le sous-sol 40-60 cm semble présenter un léger enrichissement en K2 et K3. En sous-sol profond 60-80 cm, les valeurs sont identiques.

Les quantités de K₂O libérées par l'extraction Na TPB traduisent une différenciation interdoses beaucoup plus nette encore, pour la couche 0-40 cm, surtout en K3. Pour le sous-sol 40-60 cm, il semble que la différenciation soit nulle de K1 à K3, mais que la libération soit inférieure en K0. Pour la couche 60-80 cm, il n'y a, comme pour K échangeable, aucune différence. Le pouvoir fixateur est beaucoup plus élevé en sous-sol et on remarque aussi qu'il est plus faible en K3 qu'en K0, pour le sol 0-40 cm, en liaison avec l'enrichissement en K3.

La somme K₂O échangeable + K₂O libéré permet de retrouver une part plus nette des bilans de K₂O total que K₂O échangeable seul (figure 21).

Les deux zones ponctuées de la figure 21 permettent de visualiser les quantités de K₂O échangeable et de K₂O libéré mises en évidence en sus des valeurs correspondant à K0.

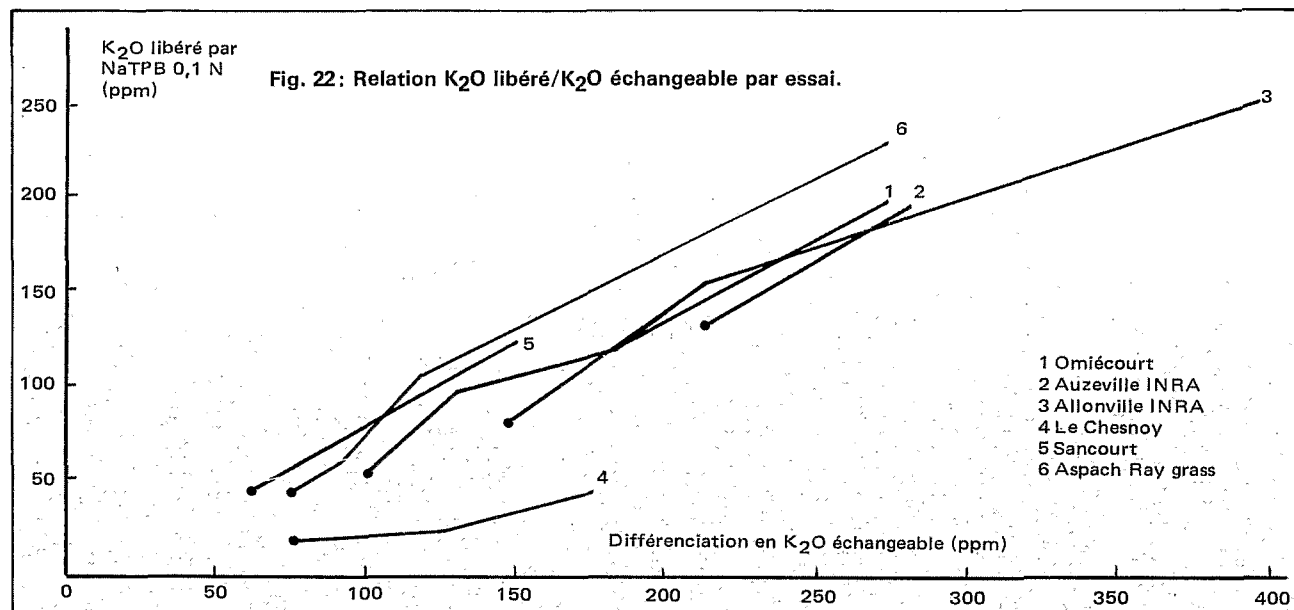
Sur un même essai, dans des conditions de sol déterminées, le K₂O ainsi libéré en fonction des antécédents potas-



siques K0, K1, K2, K3, est à peu près proportionnel à la différenciation des niveaux en K₂O échangeable (par contre, il n'y a pas lieu de rechercher de relation générale entre K échangeable et K libéré, indépendamment des types de sols (4).

La droite approchée représentant K₂O libéré par Na TPB 0,1 N en fonction de K₂O échangeable est caractérisée par

l'ordonnée à son origine K0 (libération « naturelle » du sol en début d'essai) et par la pente. Cette dernière dépend de certaines caractéristiques du sol et des bilans de K₂O total de l'essai. La figure 22 représente ces relations pour divers essais. On dispose malheureusement d'un nombre très insuffisant de telles déterminations sur l'ensemble expérimental ici étudié.



Pour les essais 1, 2, 3, 5, 6 (figure 22) le pouvoir fixateur (avec séchage) est respectivement de 50, 45, 46, 41, 60 % et dans ces conditions le K₂O libéré représente des quantités importantes, assez peu inférieures à celles de K₂O échangeable.

Pour l'essai 4 (PF avec séchage de 19 %), l'enrichissement est très peu sous-estimé par le potassium échangeable.

En première approche, on peut estimer que pour les sols à pouvoir fixateur faible à très modéré (PF avec séchage < 20 %), le potassium échangeable donne une image très valable de l'évolution de la fertilité potassique, surtout en enrichissement. Pour les sols à PF élevé (> 40 %), il risque

fort de donner une image partielle (un problème important est alors celui de la disponibilité effective pour les cultures sur une courte période des quantités de K₂O ainsi dissimulées dans la mesure de l'enrichissement). Dans ce cas, on peut penser qu'un réactif tel que Na TPB 0,1 N peut donner une assez bonne approche du potassium dissimulé et facilement mobilisable. Il y a évidemment de nombreux cas de figures pour tous les sols à PF compris entre 20 et 40 %. Mais en l'état actuel des connaissances et en particulier à partir des résultats présentés, il n'y a pas de raison très forte pour ne pas accepter la mesure K échangeable pour traduire l'évolution de la fertilité potassique d'un sol, en particulier compte tenu de l'importance du bilan K₂O total (exportations/apports) dans ce débat.

○ CONCLUSION

POTASSIUM ÉCHANGEABLE ET FUMURE POTASSIQUE D'ENTRETIEN

On peut reprendre ici la conclusion formulée par G. BARBIER en 1962 (3) : « En définitive, la fumure potassique doit tendre vers un régime d'entretien quantitatif tel que les pertes soient approximativement compensées par les gains au cours d'une rotation, une fois que K échangeable du sol a été porté ou éventuellement ramené à un certain niveau. La véritable difficulté du problème est de savoir à quel niveau il convient d'entretenir le stock de K échangeable selon les conditions générales pédoclimatiques ».

Le problème est de fixer le niveau de K échangeable du sol correspondant à l'entretien, tel que ce dernier a été défini en introduction. On sait que cela dépend surtout des conditions de sols qui régissent la dynamique K, mais on pense que le niveau général de la fertilité et les conditions régionales sont aussi à prendre en compte au moyen d'abaques régionalisés dans la mesure du possible.

Le principe général, assez bien démontré dans ce travail, qu'en bilan K₂O équilibré il se passe peu de chose au niveau K échangeable, s'applique non seulement au niveau de l'entretien défini, mais à tout autre niveau. En ce sens, on

dira que l'équilibre du bilan K₂O total à un certain niveau de K₂O échangeable permet « d'entretenir » ce niveau. On a constaté ici que, sur la moyenne de l'ensemble expérimental étudié, une dose de l'ordre de 100 kg/ha K₂O avait permis « l'entretien » du niveau de départ.

Il semble d'ailleurs y avoir un état d'équilibre K échangeable pour divers niveaux de fertilisation potassique. BARBIER et TROCME, en 1957 (2) avaient formulé une idée assez voisine à propos de l'essai de Versailles : « Si l'on prolongeait indéfiniment l'expérience en maintenant sur chaque parcelle un même régime de fumure, chaque régime deviendrait le régime d'entretien correspondant au niveau de richesse atteint dans chaque cas ». Ces faits ont été constatés ici sur les essais de longue durée d'Ablis, Lieusaint et Omiécourt.

La détermination du K échangeable est donc tout à fait valable pour vérifier périodiquement que l'on était bien en régime de bilan K₂O total équilibré et donc de maintien du niveau de K échangeable.

POTASSIUM ÉCHANGEABLE ET FUMURE POTASSIQUE DE CORRECTION

En dehors des points d'équilibres précédents, il est bien établi qu'il n'y a aucun espoir d'élever la fertilité potassique d'un sol si l'on ne se place pas en bilan positif et qu'à l'inverse, il n'y a pas à craindre une baisse de fertilité si l'on ne se place pas en bilan négatif (3).

Le problème est ici de quantifier le mouvement en hausse (enrichissement) ou en baisse (appauvrissement).

L'évolution du K échangeable donne une image valable du mouvement, mais d'autant plus déformée par défaut, que les phénomènes de fixation et de libération sont plus importants.

Le mode de calcul de la fumure de correction proposé par QUÉMÈNER (28) et basé sur la formule: besoin en K = $\frac{\Delta K \times \text{poids de terre}}{1 - \frac{PF}{100}}$ (ΔK étant la majoration de K₂O échangeable recherchée), devrait permettre d'obtenir le niveau recherché de K₂O échangeable (la prise en compte du pouvoir fixateur PF a pour effet de multiplier le besoin en K par 1,25 si PF de 20 %, 1,43 si PF de 30 %, 1,66 si PF 40 %, 2,00 si PF 50 %, etc.).

L'expérience des sols à très fort pouvoir fixateur semble indiquer qu'en fait, les teneurs en K échangeable obtenues

peuvent être un peu inférieures à celles escomptées. Un système valable dans de tels cas nous paraît être de préférer à une dose de correction massive résultant de l'application de la formule, une fumure annuelle largement calculée qui permettra éventuellement à la culture de profiter d'un effet K₂O de l'engrais appliqué qui pourra être plus efficace dans ce cas qu'un effet K₂O de l'enrichissement effectif du sol.

La principale difficulté de mesurer la correction obtenue, en K échangeable, provient de la réversibilité partielle de la fixation. La prise en compte de K₂O libéré par Na TPB 0,1 N en fonction des apports K0, K1, K2, K3 montre bien que la situation à l'enrichissement (en K2 et K3 en général) est meilleure (ou moins mauvaise) qu'il n'y paraît avec K échangeable si l'on admet qu'une partie de K₂O ainsi libéré peut servir de ce que BARBIER appelait «une réserve de K virtuellement assimilable jouant le rôle de volant régulateur de K directement assimilable».

Avec les déterminations de K échangeable, de la capacité d'échange (CEC) — éventuellement du pouvoir fixateur — et la connaissance des bilans de K₂O total (exportations et apports), on dispose en pratique de données suffisantes pour ajuster au mieux la fertilisation potassique d'un sol.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 — BALLIF, J.L., et P. DUTIL — Recherche de l'équilibre potassium-magnésium dans la fertilisation de la luzerne en Champagne crayeuse. C.R. Acad. Agric. France n° 8, 515-528 (1976).
- 2 — BARBIER, G., Cl. TENDILLE, et S. TROCMÉ — Expérience culturale de onze années sur la fumure potassique. C.R. Acad. Agric. France n° 4, 256-261 (1957).
- 3 — BARBIER, G. — La dynamique du potassium dans le sol. 7^e Cong. Inst. Int. Potasse, Berne, 231-258 (1962).
- 4 — CABIBEL, B. — Mobilisation du K des sols par le Na TPB, en relation avec le comportement des cultures. Ann. Agron. 23 (3), 355-367 (1972).
- 5 — CATZEFLIS, J., et J.P. RYSER — Recherche des doses annuelles d'azote et de potasse à appliquer à un verger de pommiers. Revue Suisse Vitic. Arboric. Hortic. Vol. 10 (5), 225-229 (1978).
- 6 — CHEVALIER, H. — Fertilisation azotée, phosphatée et potassique de la prairie temporaire exploitée au rythme de la pâture. Fourrages n° 62, 133-159 (1975).
- 7 — CHEVALIER H. — Fertilisation potassique du pommier (résultats de 20 ans d'expérimentation à la Station Agronomique d'Aspach le Bas). Dossier K₂O, n° 5, 14 p. (1976).
- 8 — CHEVALIER, H. et J. QUÉMÈNER — Relations entre la teneur en potassium d'un dactyle exploité en simulation de pâture et les disponibilités en potassium du sol. Influence de la fumure azotée. Intern. Meeting on animal Production from temperate Grassland - Dublin (1977).
- 9 — COPPENET, M. — Bilan des éléments fertilisants sur les exploitations d'élevage. Fourrages n° 62, 119-132 (1975).
- 10 — DUMONT, M., et T. MASMEJEAN — Essais sur la fumure potassique poursuivis à Levet (Cher) de 1949 à 1964. Brochure Services Agro. SCPA Mulhouse, 30 p. (1965).
- 11 — GARAUDEAUX, J., H. CHEVALIER, et C. PFITZENMEYER — Contribution à l'étude des pertes de potassium au pâturage. C.R. Acad. Agric. France, n° 10, 571-580 (1975).
- 12 — GARAUDEAUX, J., et H. CHEVALIER — Étude des interactions entre fumures azotées et potassiques sur une prairie temporaire de dactyle. C.R. Acad. Agric. France, n° 8, 548-562 (1976).
- 13 — HEBERT, J., et J.C. REMY — Effets de doses croissantes répétées de sels de potasse. C.R. Acad. Agric. France, n° 11, 946-953 (1964).
- 14 — LANÇON, J. — Les restitutions du bétail au pâturage et leurs effets. Fourrages, n° 75, 55-88 et n° 76, 91-122 (1978).
- 15 — LEFEVRE, G. — Risques d'entraînement par lessivage du potassium du sol. C.R. Acad. Agric. France, n° 13, 1084-1095 (1974).
- 16 — LEFEVRE, G. et G. HIROUX — Bilans de fumure, exportations et restitutions potassiques. C.R. Acad. Agric. France, n° 16, 1131-1145 (1976).
- 17 — LOMBAERT, V. — Étude sur le devenir du potassium restitué par les urines de bovins - in Etudes sur la fertilisation potassique sur prairies temporaires et pâturages à la Station Agron. d'Aspach, 33-41 (1979).
- 18 — LOUÉ, A. — Rapports annuels des essais de fertilisation SCPA Mulhouse, 15 volumes, (1963 à 1977).
- 19 — LOUÉ, A. — La fertilisation potassique des sols à fort pouvoir fixateur. Dossier K₂O, n° 7, 24 p. (1977).
- 20 — LOUÉ, A., et J. RAMON — Synthèse des résultats expérimentaux potasse sur luzerne. Dossier K₂O, n° 8, 3-24 (1977).
- 21 — LOUÉ, A., et J. QUÉMÈNER — La recherche de l'amélioration du diagnostic sol en matière de fertilisation potassique. Cong. Int. Sci. du Sol, Commission IV, Edmonton (1978).
- 22 — PATISSIER, J., et J. BARÈGE — La prairie normande, à la lumière de sept années d'expérimentation sur prairie pâturée. Brochure SCPA, 28 p. (1978).
- 23 — PFITZENMEYER, C. — L'exportation de potasse par le pâturage. Fourrages, n° 15, 67-81 (1963).
- 24 — PFITZENMEYER, C. — Étude de l'évolution du potassium dans les taches d'urine au pâturage. Fourrages, n° 48, 11-36 (1971).
- 25 — QUÉMÈNER, J., R. COLIN, et J. GARAUDEAUX — Liaison entre potassium extrait des sols par le tétraphénylborate de sodium et potassium mis en évidence par des cultures en pots. Science du Sol, n° 2, 105-117 (1974).
- 26 — QUÉMÈNER, J. — The use of reagents containing sodium tetraphenylboron for the extraction of soil potassium: applications to the study of fertility problems. 10th Cong. Int. Pot. Inst. Bern, 65-72 (1974).
- 27 — QUÉMÈNER, J. — Analyse du potassium dans les sols. Dossier K₂O, n° 4, 26 p. (1976).
- 28 — QUÉMÈNER, J. — Le conseil de fumure potassique tiré de l'analyse de sol à la SCPA. Dossier K₂O, n° 6, 24 p. (1976).
- 29 — QUÉMÈNER, J. — The measurement of soil potassium. Int. Pot. Inst. Bern - Research Topics, n° 4, 48 p. (1978).
- 30 — SOYER, J.P., E. LUBET, M. MENET, et R. CHIGNON — Entretien de la fertilité phosphopotassique du sol en culture céréalière à rotation simple (monoculture maïs ou rotation blé/maïs) C.R. Acad. Agric. France, n° 11, 843-857 (1976).